



# IMCET 2017



## MADENCİLİKTE YENİ EĞİLİMLER

Türkiye 25. Uluslararası  
Madencilik Kongresi  
Bildiriler Kitabı

11-14 Nisan 2017  
Antalya / TÜRKİYE

Editörler:

Prof. Dr. İrfan BAYRAKTAR

Dr. Mehmet KARADENİZ, Dr. Mehtap GÜLSÜN KILIÇ, Dr. Fırat ATALAY, Öznuş ÖNEL, Elif TORUN BİLGİÇ, Mehmet ÖZYURT

ISBN: 978-605-01-1008-1

Baskı: TMMOB Maden Mühendisleri Odası  
Selanik Cad. 19/4 Kızılay-Ankara

Nisan 2017

Tel : +90 312 425 10 80

Faks : +90 312 417 52 90

[www.maden.org.tr](http://www.maden.org.tr)

[maden@maden.org.tr](mailto:maden@maden.org.tr)

*Tüm hakları saklıdır © 2017*



**IMCET 2017**

**MADENCİLİKTE  
YENİ  
EĞİLİMLER**

**Türkiye 25. Uluslararası  
Madencilik Kongresi  
Bildiriler Kitabı**

**Editörler:**

**Prof. Dr. İrfan BAYRAKTAR**

**Dr. Mehmet KARADENİZ**

**Dr. Mehtap GÜLSÜN KILIÇ**

**Dr. Fırat ATALAY**

**Öznur ÖNEL**

**Elif TORUN BİLGİÇ**

**Mehmet ÖZYURT**



**TMMOB**  
Maden Mühendisleri Odası

## **Kongre Yürütme Kurulu**

Başkan	Prof. Dr. İrfan BAYRAKTAR
II. Başkanlar	Ümit Ragıp ÜNCÜ Dr. Mehmet KARADENİZ Dr. Mehtap GÜLSÜN KILIÇ
Yazmanlar	Niyazi KARADENİZ Fatih TÛTÛNLÛ Dr. Fırat ATALAY
Saymanlar	İsmail Fatih ÖZKAN Mehmet ÖZYURT
Üyeler	Necmi ERGİN Nadir AVŞAROĞLU Mehmet Erşat AKYAZILI Ali ÖNEMLİ Davut ÖZLEN Selim ALTUN Elif TORUN BİLGİÇ Öznur ÖNEL İmge TÛMÛKLÛ Pelin KERTMEN

## **Maden Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu**

Başkan	Ayhan YÛKSEL
Başkan Yardımcısı	Emre DEMİR
Sekreter	Necmi ERGİN
Sayman	Mehmet ÖZYURT
Üyeler	Sinan GİRDAPLI Öznur AKÇA Servet GÜRER

## ÖNSÖZ

Türkiye'nin ilk Madencilik Kongresi, 1969'da düzenlendiğinde çoğu delegenin, bu kongrenin; her iki yılda bir düzenli toplanacağını ve böylesine bir başarıya sahip olacağını tasavvur ettiğini sanmıyoruz. Kongre, istikrarla büyümüş ve 2001'de, uluslararası bir kimlik kazanmıştır.

Diğer mühendisliklere paralel olarak maden mühendisliği de temel ilkelerin anlaşılması ve yeni teknolojilerin üretilmesi bağlamında gelişmektedir. Ancak, madencilik endüstrisi; teknik ve ekonomik yönlerinin yanı sıra, çevre, işçi sağlığı - iş güvenliği, kamuoyu baskısı ve halkın katılımı konularıyla ilgili birçok sorunla karşı karşıyadır.

Bu bağlamda, 25. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, sorunları tanımlamak, tartışmak ve çözüm önerilerini belirleyerek kayda geçirmek amacıyla düzenlenmiştir.

25. Kongre bildiriler kitabı, dünyanın dört bir yanından davet edilen 11 uzmanın çalışmaları ve hakemler tarafından incelenen 182 bildirden oluşmaktadır. Bu kitap, konusunda uzman olan katılımcıların çok değerli katkılarının bir sonucudur. Bu nedenle, madencilik endüstrisine çok faydalı olacağını ümit ediyoruz.

Editörler, 25. Kongre kitabına katkı koyan uzmanlara, verdikleri destek için Yürütme Kurulu üyeleri ile birlikte TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yönetimine içten teşekkürlerini sunar.

*Prof. Dr. İrfan BAYRAKTAR*

*Dr. Mehmet KARADENİZ*

*Dr. Mehtap GÜLSÜN KILIÇ*

*Dr. Fırat ATALAY*

*Öznur ÖNEL*

*Elif TORUN BİLGİÇ*

*Mehmet ÖZYURT*

## ÇAĞRILI BİLDİRİLER

Mining Economics and Technology I. C. Runge .....	2
Current Status of Secondary Raw Material Processing in Japan T. Fujita, G. Dodbiba, J. Ponou.....	12
Can Geometallurgy Add Tangible Value During the Production Phase of Mining Projects? JW Mann, M Becker, R Schouwstra, DJ Bradshaw .....	23
Spatial Outlier Detection in Mineral Resource Estimation A.Erhan Tercan .....	33
Maden ve Tünel Mühendisliğin Ortak Yanları ve Bazı Öneriler <i>The Common Aspects of Mining and Tunnel Engineering and Some Recommendations</i> N. Bilgin.....	42
Dünyada ve Türkiye’de Kömür: Dünden Bugüne; Bugünden Geleceğe Bakış N. Pamir .....	50
Yeraltı Kömür Madenciliğinde Güvenli Üretim Teknikleri Safe Production Techniques In Underground Coal Mining Y. Aydın.....	90

## MADENCİLİK

### KAYA MEKANİĞİ / İŞLETME / HUKUK / ÇEVRE / EĞİTİM

Yeraltı Madenlerinde Yapısal Deformasyonların İzlenmesinde Robotik Bir Yaklaşım <i>A Robotic Approach For Structural Stability Assessment Of Underground Mines</i> C. Güney, H. Tunçdemir, S. B. Sayın .....	99
Koruyucu Adlı Yeni Nesil Hafif Tam Mekanize Kalkan Tipi Tahkimat’ın Yeraltı Kömür Ocaklarına Yönelik Olarak Tasarlanması <i>Designing a New Generation Lightweight Full Mechanized Shield Type Hydraulic Supported for Underground Coal Mines</i> H. E. Yaman, C. O. Aksoy, S. Bahçekapılı .....	111
Derin Açık İşletme Kömür Madenciliğinde Şev Stabilitesi Stratejisi ve Faylı Bölge Kazı Yönü Değerlendirilmesi <i>Evaluation of Slope Stability Strategy and Fault Region Excavation Direction In Deep Open Cast Coal Mining</i> G. Turan, D. Karakuş, M.E. Kılınç, A.H. Onur, A. Özer .....	118
Reçine Enjeksiyonlu Kaya Saplamlarının Zayıf Kaya Birimlerinde Çekme Dayanımının İncelenmesi <i>Investigation of Pull-Out Strength of Resin Grouted Rock Bolts in Weak Rock Masses</i> İ. F. Öge, E. Kahraman, Ç. Koçak .....	133
TTK Üzülmüş Müessesesi Asma Dilaver İşletmesinde Reçineli Kaya Saplamlarının Kullanımının Değerlendirilmesi <i>Evaluation of the Use of Resin Grouted Rockbolts in the Asma Dilaver Mine of TTK Uzulmez Colliery</i> Ö. Yılmaz, D. Acun, E. Günay .....	139

Yenilmiş Karotlardan Hazırlanmış Küre Örnekler üzerinde Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksinin (SDI) Belirlenmesi Determination Of Slake Durability Index (SDI) On Sphere Samples Prepared From Failure Cores H. Ankara .....	150
Soma Deniş Açık Kömür Ocağında 3 Boyutlu Nümerik Modelleme ile Şev Duraylılık Performansının İncelenmesi <i>Investigation of Three Dimensional Numerical Analysis and Slope Stability Performance at Open Coal Mining in Deniş-Soma, Turkey</i> K. Küçük, C. Okay Aksoy, T. Onargan, H. E. Yaman, C. B. Kocaman, V. Özacar .....	158
Soma Kömür Havzasında Pliyosen Kaya Birimlerinde RMR, Q-Sistemi ve GSI Değerlerinin İlişkilendirilmesi <i>Relating RMR, Q-System and GSI Ratings in Pliocene Formations of Soma Coal Basin</i> İ. F. Öge, F. E. Yağimli, A. Türkoğlu .....	170
Granitoyitlerin Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi -Türkiye- Gümüşhane Örneği <i>The investigation of some physical properties of granitoids: case study from Gümüşhane, Turkey</i> G. Külekçi, A. O. Yılmaz.....	175
Sedimanter Kayaçlar için Laboratuvarında Bilgisayar Kontrollü Döner Delik Delme Deney Aleti ile Spesifik Delme Enerjisinin Değerlendirilmesi <i>Evaluation of Specific Drilling Energy with Computer Controlled Rotary Drilling Rig for Sedimentary Rocks</i> U. Sakız, H. Aydın, O. Yaralı, H. Duru .....	182
Kayaçlarda Geri Sıçrama Mekanizmalı Sertlik Ölçme Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Equotip Sertlik Ölçerle Delme Hızının Tahmini <i>Comparison of Rebound Mechanism Hardness Testing Methods on Rocks and Prediction of Drilling Rate by Equotip Hardness Device</i> O. Su .....	191
Açık Ocak Delme – Patlatma İşlemleri için Süreç İyileştirme Amaçlı Yapılan Tasarım ve Analiz Faaliyetlerinde Kullanılmak Üzere Geliştirilen Bir Yazılım <i>A Software Developed to be Used in Design and Analysis Activities for Process Improvement for Open Pit Drilling and Blasting Operations</i> E. Kazan, S. Sülünbaş, S. Ercins, H. Akçakoca .....	199
Yeraltı Patlatmalarından Kaynaklı Sismik Enerjinin Tahkimat Tasarımında Dinamik Etki Olarak Parametrik Bir Şekilde Tanımlanması <i>Parametrical Definition of the Underground Blasting Induced Seismic Energy As A Dynamic Effect In Support Design</i> G. G. Uyar, N. O. Güngör, E. Yaman .....	211
Eti Bakır Küre Yeraltı Ocağında Cevher İçinde Gerçekleştirilen Galeri Atımlarının Verimliliğinin İncelenmesi <i>Investigation of the Efficiency of Ore Face Blasting Operations in Eti Bakır Küre Underground Mine</i> F. R. Ünal, T. Hüdaverdi .....	218
Eti Maden Kırka Sarıkaya Açık Ocağında Patlatma Sonrası Oluşan Yığın Boyut Dağılımının KCO Modeli ve Görüntü Analiz Yöntemi ile Belirlenmesi <i>Investigation of Muckpile Fragmentation with KCO Approach and Image Analysis Technique in ETI Mine Kırka Sarıkaya Quarry</i> Ö. Akyıldız, T. Hüdaverdi, E. Ferah .....	227

Taş Ocaklarında Delik Çapı Değişiminin Kırmataş Üretim Maliyetlerine Olan Etkilerinin Belirlenmesi <i>Determination of the Influences of the Blasthole Diameter Changes on the Crushed Aggregate Production Costs in Quarry</i> A. Çelik, N. Bilim.....	235
Bir Açık Ocak Altın Madeni Proses Tesisi Temel Kazılarında Gerçekleştirilen Kontrollü Patlatma Uygulamaları <i>Controlled Blasting Applications at Processing Plant Foundation Excavation in an Open Pit Gold Mine</i> Ü. Kılıç, M. Derya, V. Alabaş.....	240
Metan Davranışının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Metodu ile Modellenmesi <i>Modelling of the Methane Behaviour by the Computational Fluid Dynamics</i> G. Daloğlu, M. Önder.....	252
Yeraltı Kömür Ocaklarında Kullanılan Bekleme Barajlarının Tasarımına Sayısal Bir Yaklaşım <i>A Numerical Approach to the Design of Stoppings in Underground Coal Mines</i> K. Barış, Ö. Yılmaz.....	258
Türkiye’de Havalandırma Konusundaki Mevzuat Hükümlerinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi <i>Evaluation of Legislation Provisions on Ventilation in Turkey in Terms of Occupational Health and Safety</i> T. D. Yıldız.....	270
Düşük Kaliteli Kömürlerde Tenör-Tonaj Eğrileri ile Günlük Üretim Planlarının Hazırlanması <i>Preparation of Daily Production Plans for Low-Quality Coal with the Grade-Tonnage Curves</i> A.C. Özdemir, A. Dağ, S. Ural.....	283
Soma Kömür Havzasında Havza Madenciliği Hakkında Bir Yaklaşım <i>An Approach to Basin Mining for Soma Coal Basin</i> C. O. Aksoy.....	291
Maden İşletme Planlamasında Yeni Bir Yaklaşım: Optimum Geçiş Derinliği <i>A New Approach In Mining Planning: Optimum Transition Depth</i> T. Mallı, M. Kun.....	299
Üç Farklı Kazı Arını Optimizasyon Yönteminin Var Olan Bir Madene Uygulanması ve Sonuçların Karşılaştırılması (Kazı Arını Sınırlarının Optimizasyonunda Örnek Bir Uygulama) <i>The Implementation of the Three Different Stope Boundary Optimization Methods in an Existing Underground Mine and Comparison of Results (A Practical Example in the Optimization of Stope Boundaries)</i> G. Erdoğan, M. Yavuz.....	307
Karasız Market Koşullarında Dinamik Programlama ile Sınır Tenörleri Eniyilemesi <i>Cut-off Grades Optimization By Means of Dynamic Programming Under Uncertain Market Conditions</i> E. Çetin.....	319
Madencilik Faaliyetleri İzleme ve Otomasyon Sistemi <i>Monitoring and Automation System in Mining</i> A.E. Tercan, B. Ünver, M.A. Hindistan, S. Ural, S. Gazel, A. Hadımoğulları.....	325
Bilgisayar Destekli Kömür Damar Blok Modeli ve Katı Modellerinin Oluşturulması <i>Computer Aided Coal Seam Block Model and Solid Model Generation</i> A. Eşiyok.....	331



İsdemir Yüksek Fırınlarda Yerli Ve İthal Cevherlerin Kullanımlarının Optimize Edilmesi <i>Optimisation of Domestic and Imported Iron Ore At İsdemir's Blast Furnaces</i> S. Balaban, M. Tellioglu .....	340
Tufanbeyli Linyit Sahasındaki Zeminlerin Kazılabilirlik Özelliklerinin Araştırılması <i>Investigation of the Excavating Properties of Soils of Tufanbeyli Lignite Area</i> A. Ürünveren, S. Ural .....	346
Destek Vektör Makineleri ile Jeolojik Zonların Kesit Yorumu <i>Interpretation of Geologic Domain Sections by Support Vector Machines</i> G. Ertunç, F. Atalay.....	362
Cerchar Aşınma İndeksi'ne Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi <i>An Investigation of Factors Affecting Cerchar Abrasivity Index</i> H. Duru, H. Aydın, O. Yaralı, U. Sakız.....	369
Bir Tünel Projesinde TBM'de Kullanılan Disk Keskinin Isılarının Ölçümü ve Değerlendirilmesi <i>Thermal Measurement and Evaluation of Disc Cutters Used for a TBM on A Tunnel Project</i> Ü. Kalaycı, Ü. Özer, U. Gümüş, U. Altay .....	376
TBM ile Açılan Silvan Sulama Tünelinde Yaşanan Metan Parlamaşı <i>Methane Flare in Silvan Irrigation Tunnel Opened by TBM</i> D. Aydın, M. Ayhan, M. Ş. İmamoğlu, M. Çoğalan .....	384
Konya-Ilgın Linyit İşletmesindeki Açık Ocak Yangın Riskinin İncelenmesi <i>Investigation of Lignite Open Pit Fire Risk in Konya-Ilgın Mines</i> M. Gündoğar, M. S. Delibalta.....	392
Çanakkale, Tuzla Bölgesi Jeotermal Sondaj Sahasının İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi ve Risk Analizi <i>Evaluation of the Occupational Health Safety and Risk Analysis in the Çanakkale, Tuzla Geothermal Drilling Region</i> Y. Erdoğan, O. E. Kök, İ. Tanrıverdi.....	399
Eynez Kömür Sahası Koşulları ve Gelecekte Güvenli Madencilik İçin Yapılması Gerekenler <i>Properties of Eynez Coal Field and Actions to be Taken for Safe Mining in the Future</i> B. Ünver, M. A. Hindistan .....	408
Bir Yeraltı Kömür Madeni Çalışanlarının Psikososyal Risk Faktörlerinin İstatistiksel Değerlendirmesi <i>Evaluation of Psychosocial Risk Factors of Underground Coal Mine Workers</i> S. Önder .....	417
Güvenli Madencilikte İSG Psikolojisi: Psikososyal Çalışmaların Proaktif Rolü <i>OHS Psychology in Safe Mining: Proactive Role of Psychosocial Studies</i> D. Dönmez, B. A. Gülensoy, S. İbiş .....	424
Madencilikte Bilgisayar Destekli Eğitim Çalışmalarına Örnekler <i>Computer Aided Learning Tools in Mining Engineering Education</i> Ö. Akkoyun .....	430
Trabzon ili ve Çevresindeki Mermer İşletmelerinin İncelenmesi <i>Investigation of Marble Quarries in Trabzon Region</i> G. Külekçi, A. O. Yılmaz .....	437

Madencilik Amaçlı Orman İzinlerinin Türkiye ve Dünyadaki Mevzuat Uygulamalarının Karşılaştırılması <i>Comparison of Legislation Implementation Regulatory Practices for Turkey and World in Terms of Forestry Permits for Mining Activities</i> M. Aktan, N. Çimen, Y. Özçelik .....	447
Türkiye’de Maden Atıkları Yönetmeliği’nin Madencilik Sektörüne Etkileri <i>The Effects of the Mineral Waste Regulation in Turkey on the Mining Sector</i> T. D. Yıldız, O. Güner, O. Kural .....	457
Ulusal ve Uluslararası Maden Hukukunun İlkeleri <i>Principles of National And International Mining Law</i> Ö. Günay .....	473
Madencilik Sektöründe Yetkin Kişi ve Türkiye’de Yetkilendirilmiş Tüzel Kişiler <i>Competent Person in Mining Industry and Authorized Legal Persons in Turkey</i> Ş. Şafak .....	483
İmbat Madencilik Soma – Eynez İşletmesinde Yeraltı ve Yerüstü Kaynaklı Su Baskını Tehlikelerinin Değerlendirilmesi <i>Evaluation of the dangers of water flooding from underground and surface sources at Soma-Eynez Mine of Imbat Mining</i> N. A. Akçın, V. Didari, G. Büyükyıldız, A. Ekici, T. Ünlü, H. Akçın.....	488
Yerüstü Maden Ocaklarında Uzaktan Kontrol Sisteminin Önemi <i>Importance of Remote Control System in Open Pit Mines</i> A. Sakcalı, H. Yavuz .....	500
Alkali Silis Reaksiyonun Oluşumu, Önemi ve Tespit Yöntemleri <i>Alkali Silica Reaction Formation, Importance and Detection Methods</i> O. O. Varol, M. Ayhan, V. Oyan .....	506
Tuğla Üretiminde Alternatif Bir Hammadde: Şlam Atığı <i>An Alternative Raw Material in Brick Production: Coal Slurry Waste</i> M. Ziypak, Z. Olgun, A. Şahin, Y. Kılıç, M. Kara .....	514
Türkiye’de Altın Madenciliğinin Dünü, Bugünü ve Geleceği <i>Past, Present and Future Of The Gold Mining in Turkey</i> M. Köse, V. Oygür, G. Gürses .....	524
Yerüstü Macun Malzemenin Farklı Depolama Tasarımlarındaki Kayma Dayanımı Davranışlarının İncelenmesi <i>The Investigation of the Shear Strength Behaviours of Surface Paste Material in Different Storing Designs</i> A. Başçetin, S. Tüylü, D. Adıgüzel.....	536
Sürdürülebilir Enerji Stratejisinde Yeni Linyit Rezervlerinin Elektrik Üretim Kapasitesi Potansiyeli <i>Potential of Electric Power Capacity for New Lignite Reserves in Sustainable Energy Strategy</i> T. Mallı .....	542
Zemin İyileştirmede Kullanılan Katkı Maddelerinin Kesici uçlar ve Havalandırma Açısından Önemi <i>Importance of Additive Materials in Ground Conditioning with Regard to Cutting Picks and Underground Ventilation</i> C. Doğruöz, S. Özün, M. Gülsün Kılıç.....	548

Amasra B Projesinde On Yıllık Sürecin Genel Değerlendirmesi Amasra B Projesinde On Yıllık Sürecin Genel Değerlendirmesi <i>General Evaluation of the Ten-year Period in Amasra B Project</i> V. Didari, N. A. Akçın, S. Şenkal.....	554
Uluslararası Rezerv Standartları – Konya-Karapınar/Karaman-Ayrancı Kömür Havzasının CRIRSCO Standartında Rezerv Raporlaması <i>International Reserve Standards- Reporting of Konya-Karapınar/Karaman-Ayrancı Coal Basin at CRIRSCO Standards</i> C. Taştekin, E. Ata, Ü. Yüksek .....	562
Afşin-Elbistan Kömür Havzası (E) Sektöründeki Hidrojeolojik Çalışmalar <i>Hydrogeological Studies In Afşin-Elbistan Coal Basin (E) Sector</i> S.Canbaz, C.Taştekin, E.Ata, M.Eren, A.Şahinarslan, H.Demir, Ü.Yüksek, A.Gür, M.Çiçek.....	571
Türkiye Alçıtaşı ve Alçı üretimi/Turkish Gypsum and Plaster Production S. Kulaksız, M. Sever .....	578
Karbonat Kökenli Bazı Doğal Taşların Termal Davranış Performanslarının Belirlenmesi <i>Determining the Performans of Thermal Behavior of Some Natural Stones with Carbonate Origin</i> M. Kun, T. Mallı .....	586

### CEVHER ZENGİNLEŞTİRME / ÜRETİM METALURJİSİ

Karıştırmalı Bilyalı Değirmende Talkın Öğütme Sürecine Öğütme Yardımcılarının Etkisi <i>The Effect of Grinding Additives on the Breakage Process of Talc in Stirred Ball Mill</i> D. Katırcıoğlu Bayel.....	593
Çimentonun Konvansiyonel Bilyalı Değirmende Öğütülmesinde İşlem Parametrelerinin Etkisi <i>Effects of Operating Parameters on Cement Grinding in a Conventional Ball Mill</i> S. Çayırılı .....	599
Kaolenin Kırılma Parametrelerinde Bilya Türünün Etkisi <i>Effect of Ball Types on Breakage Parameters of Kaolinite</i> S.Haner, B. Haner, T. Tunay .....	605
Yıkama Suyu Miktarının Kabaran Yataklı Ayırıcı Performansı Üzerine Etkisi <i>Effect of Teeter Water Rate on Performance of a Teetered Bed Separator</i> Ö. Özcan, Ş. L. Ergün .....	611
Sallantılı masa atığı antimonit cevherinin Knelson Konsantratörü ile zenginleştirilmesinin istatistiksel analizi <i>Statistical analysis for beneficiation of shaking table antimonite waste by Knelson concentrator</i> U. Demir, O. Şahbaz, Ö. Canıeren, S. Karaca, C. Karagüzel .....	620
Kuvars Zenginleştirme Tesisi Atıklarının Daralan Oluk ile Zenginleştirilmesinde Manyetik Alanın Etkisi <i>Effect of Magnetic Field on the Concentration of Quartz Concentrator Tailings by Pinched Sluice</i> S. Yurtsever, T. Güler .....	627
Lösitin Manyetik Ayırıcı ile Zenginleştirilebilirliğine Tane Boyutunun Etkisi <i>The Effect of Particle Size on The Recovery of Leucite by Magnetic Separation</i> A. Uçar, S. Karaca, N. Derin Coşkun, Y. Kibici, V. Uz.....	634

İzmir-Menderes Pomza Cevherinin Jig ve Sallantılı Masa ile Zenginleştirilmesi <i>Recovery of Izmir-Menderes Pumice Ore with Jig and Shaking Table</i> E. Kılınç Aksay, A. Akar, E. İ. Cöcen .....	641
Çözünmüş Hava Flotasyonu (ÇHF) Tekniği ile Talkın Tuzlu Sularda Yüzebilirliği <i>Flotability of Talc by Dissolved Air Flotation (DAF) Technique in Salt Solutions</i> K. Çinku, G. Bekçi, O. Özdemir .....	649
Jameson Flotasyon Hücresinde Bias ve Köpük Derinliğinin Kontrolü <i>Bias and Froth Depth Control In Jameson Flotation Cell</i> A. Pirinç, A. Uçar, O. Şahbaz, B. Öteyaka .....	658
İyonik yüzey aktif maddelerin Tunçbilek linyit kömürünün aglomerasyon-flotasyonuna etkisi <i>The effect of ionic surfactants on the agglomeration-flotation of Tunçbilek lignite coal</i> E. Kılınç Aksay, V. Arslan, H. Polat .....	669
Isıl Önışlemlerin Linyit Artıklarının Flotasyonuna Etkileri <i>Effects of Thermal Pre-treatments on Flotation of Lignite Tailings</i> Y. Baktarhan, C. Gungoren, I. Demir, S.G. Ozkan, O. Ozdemir .....	677
Şlam Kömürün Flotasyon ile Kazanımında Sıcaklığın Etkisi <i>The Effect of Temperature in Recovery with Flotation of Coal Slime</i> Y. Baktarhan, A. Baktarhan, H. Hacifazlıoğlu .....	682
Afşin-Elbistan Linyitlerinin Öğütülebilirlik Özellikleri ile Kimyasal İçerikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi <i>Examination of Relationship Between Grindability Properties and Chemical Contents of Afsin-Elbistan Lignites</i> M. Altın, A. Ürünveren, S. Ural .....	687
Soma Kömürlerinin Açık Havada Kurutulmasının Öğütme Maliyetine Etkisi <i>Effect of Open Air Drying of Soma Coals on Grinding Cost</i> İ. Demir, Ş. G. Özkan, C. Güngören, Y. Baktarhan .....	693
Tosya Linyit Kömürünün Borik Asit Liçi ile Demineralizasyonu <i>Demineralization of Tosya Lignite Coal with Boric Acid Leaching</i> D. Uçkan, H. Hacifazlıoğlu .....	705
Mermer Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Malzemenin Çimento İçerisinde Doğal Zeolit ile Birlikte Kullanılmasının Çimento Üzerindeki Etkileri <i>The Effects Of Utilization Of Waste Material Generated During Marble Production With Natural Zeolite Within Cement</i> A. V. Korkmaz .....	714

## POSTER BİLDİRİLER

Vahap Özaltay Meydanı ve Çevresi Kesintisiz Karayolu Ulaşımının Sağlanması Projesi Kapsamında Zemin Dondurma Yöntemiyle Tünel Planlaması <i>Tunnel planning with Artificial Ground Freezing Method for the Nonstop Roadway Transportation at Vahap Özaltay Square and Surroundings</i> C. O. Aksoy .....	724
--	-----

Aşınmış Matkaplar için Bileyleme Çalışmasının Bir Yeraltı Metalik Madeninde Uygulanması <i>An Assessment of Grinding Process for Worn Rock Bits in Underground Metallic Mine</i> Ö. Acaroğlu Ergün, C. Erdoğan, Ö. C. Güven.....	734
Açık Ocak Patlatmalarının Bir Yeraltı Ocağı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi <i>An Investigation of The Effect of Open Pit Blasts on An Underground Mine</i> Ö. Uysal, Ş. Yuvka, S. Beyhan, H.E. Çatal.....	742
Maden İşletme Sahaları İçerisindeki Riskli Alanların Havza, Yağış ve Taşkın Analizleri ile Belirlenmesi: Hurman Çayı Örneği <i>A Sample for the Determination of Areas Having Flood Risk in Mining Operational Areas by Basin, Rainfall and Flood Analysis: Hurman Watercourse, Afşin/Elbistan</i> T. E. Toptaş, S. Ural .....	748
Üretilabilir Kömür Damarlarının Belirlenmesinde Sondaj Verilerinden Fay Süreksizliklerinin Modellenmesi Yaklaşımı <i>Determination of Fault Modelling Approach in Mineable Coal Seams</i> M.E. Kılınç, E. Yalçın.....	754
Çamköy Formasyonundaki Jeotermal Sondaj Çamurunun Reolojik ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi <i>Evaluation of the Rheological and Chemical Properties of Geothermal Drilling's Mud in Çamköy Formation</i> Y. Erdoğan, O. E. Kök, Y. Erdoğan, O. E. Kök, İ. Tanrıverdi .....	763
Madencilikte Risk Değerlendirmede Yeni Bir Yaklaşım <i>A New Approach for Risk Assessment in Mining</i> Ş. Yuvka, O. Şahbaz, H. E. Can, Ö. Uysal .....	776
Motor Yağlarının Ömür Tayini <i>Determining Life Of Engine Oil</i> H. R. Karataş .....	785
Kuvars İşletmesi'nde Bigbag Taşıma Sisteminin Demir Bigbag Taşıma Sistemi ile İyileştirilmesi A. K. Çakır, A. Demirel N. Çetin .....	793
Cüruf Granüle İnba Sisteminde Poliüretan Kaplı Role Kullanılması Ve Avantajları <i>Advantages and Usage of Polyurethane Coated Rollers at Slag Granulation and Conveying System "Inba"</i> Ü. Gebenli, İ. Çakmak, İ. Y. Fidan.....	800
Kazan Taban Külü ile Asidik Maden Drenaj (AMD) Sularının Nötralizasyonu - AMD Organik Humat Çamuruyla Tarım Alanlarının İyileştirilmesi <i>AMD Neutralization by Bottom Fly Ash - Remediation of Agricultural Fields by Organic Humate Mud of AMD Treatment</i> Y. İ. Tosun .....	804
Aydıncık/Mersin Dolomitlerinden Nano Boyut Dağılımına Sahip Sentetik Periklas (MgO) Taneciklerinin Üretimi <i>Production of Synthetic Nano Periclase (MgO) Particles from Aydıncık/Mersin Dolomites</i> M. Altın, M. Yıldırım.....	813
Bilyalı Değirmen İç Aksamı Tasarımının Öğütme Verimliliğine etkisi <i>Three Reasons for High Quality Ball Mill Internals</i> A. Kızılay, T. Nowack.....	823

Türk Linyitler'inin ve Şırnak Asfaltit'inin Pirit ile Mikrodalga Pirolyzi <i>Microwave Pyrolysis of Turkish Lignites and Şırnak Asphaltite By Pyrite</i> Y. İ. Tosun .....	826
Metalürjik Kok Üretiminde Katkı Malzemesi Olarak Yüksek Fırın Çamurunun (YFÇ) Kullanım İmkanının Araştırılması <i>Investigation of Usage of Blast Furnace Sludge (BFS) as Additive Material in Metallurgical Coke Production</i> F.Parlak, B. Büyüğünal, T. Pamuksuz, S. A. Çal, K. Akgün, C. Erarslan, E.Yıldız .....	834

# ***ÇAĞRILI BİLDİRİLER***

# Mining Economics and Technology

I. C. Runge

*Founder and Director, RPMGlobal, Brisbane, Australia*

**ABSTRACT** This paper examines the interaction of economics and technology in mining. It is in three parts, the common link being the influence of economics on decisions. The first part highlights how economics underpins choices to explore for mineral commodities. It shows that popular concerns regarding exhaustion of non-renewable mineral commodities are largely unfounded. The second part examines the impact of technology and its effect on mine economics. Using real-world cases it suggests that the industry application of technology is focussing on evident but less-economically-valuable applications and overlooking less-evident but more-economically-important applications. It uses an example of path-dependent processes to highlight the importance of the *process* of mine planning. The third part examines the impact of cyclical commodity prices on mining company decision-making. It concludes that the current phase of the commodity price cycle presents a significant opportunity for implementation of technology in mines for lasting long-term efficiencies.

**Keywords:** Economics, Technology, Reserves, Computer, Commodity Prices

## 1 INTRODUCTION

In competitive free market environments economics underpins every choice - in exploring for mineral deposits; in planning for, developing, and operating mines and processing plants; and in the financing and marketing of mineral commodities. Yet, understandably, few technical professionals have a comprehensive understanding of economics. Mining is a multi-disciplinary industry, and, as with elsewhere in the industry where there is overlap between disciplines simplified proxies from the other field are deployed to incorporate the necessary guidelines or requirements.

A grade control engineer in the mine, for example, might only have a rudimentary understanding of processing plant metallurgy, but will use simplified guidelines given to him or her from the plant manager. Likewise, a geologist looking for the latest mineral

commodity of interest will incorporate guidelines such as minimum widths, depths, and grades from mining and processing disciplines to inform his exploration targeting. Sometimes these guidelines from other disciplines prove reliable enough for the task at hand, and sometimes not.

What about the overlap with economics – an overlap that impacts all the technical disciplines?

When a planning engineer optimizes something, how well does the “something” translate into the best economic outcomes? What defines the best economic outcome? If we achieve lower costs or better returns in the short term, is this at the expense of higher costs or worse returns in the long term? Are better returns associated with higher risk?

The sections that follow don’t answer these questions explicitly, but look at three areas of industry endeavour through an economic lens



to arrive at a subjective report card of success or otherwise from an economic perspective.

## 2 MINERAL COMMODITIES: LONG TERM RESERVES AND PRICES

### 2.1 Reserves of Mineral Commodities

It is common perception that all the key mineral commodities – non-renewables – are gradually becoming exhausted. Deposits are becoming deeper, harder to find, and more complicated to extract, whilst at the same time the rate of production is increasing. The implication is that we must conserve existing resources and focus on recycling and on the use of alternatives, especially renewables.

Various authors (see: Baumol and Blackman, 1993; Repetto, 1987; Runge, 1998) have looked at world reserves and resources of non-renewable mineral commodities and how they change through time. Table 1 shows the reserves and production for three selected minerals illustrating the situation since 1950.

Even though production in the 30 years following on from 1950 exceeded, or nearly exceeded, the reserves available in 1950, the reserves by 1980 far outweighed the reserves at the start. Even today, with higher production rates and a much stricter definition of what constitutes a “reserve,” the current reserve position translates into 26 years of production (for Iron), and more than this for the other commodities. For most commodities the reserve position is typically increasing both in total terms and in years-

of-production terms.

This trend is a consequence of simple economics. Exploring for and proving up reserves is costly. It is uneconomic to spend money *now* to prove up reserves too far into the future, because the return from exploiting them only materializes when they are extracted.

The conclusion to be drawn is that there is no evidence yet to suggest that any of the important mineral commodities are becoming exhausted.

### 2.2 Long-term Prices of Mineral Commodities

When it comes to sustainable production of mineral commodities sufficient reserves are only half the equation however. The other half is “cost.” It is of little value if the world reserves of oil were good for (say) 100 years at current production rates but gasoline was going to cost \$100/litre.

In a market economy if there is a shortage of any commodity, the price will change (rise) until supply matches demand. The economics will favour additional exploration and deployment of technologies to exploit deposits previously considered uneconomic. At the same time, demand will also reduce. In this purely economic scenario the world will probably never really run out of any mineral commodity.

Is Table 1 just underpinned by ever-increasing commodity prices?

The answer is: No. There are short term fluctuations in the price of all commodities, but

Table 1 – World Reserves and Production of Three Selected Minerals

Mineral	Reserves* 1950	Production 1950 – 1980	Reserves 1980	Reserves <sup>β</sup> 2016	Years of Production
Aluminum	1,400	1,346	5,200	7,000 (16,000)	>100 years
Copper	100	156	494	720 (2,100)	36 to 112 years
Iron	19,000	11,040	93,466	85,000 (230,000)	26 to 66 years

\* Reserves and Production from 1950 and 1980 from Repetto (1987). Reserves and production for 2016 estimated by the author based on information from the U.S. Geological Survey. Units: *millions of tonnes of metal content*

<sup>β</sup> Definitions for reserves in 1950 and 1980 are not compatible with the definitions in use in 2016, and include mineralization which would now be classified as “resources.” For 2016, the first estimate is quoted reserves, the second estimate in parentheses includes resources (insufficiently well-defined to be classified as reserves under currently accepted definitions).

when these changes are excluded *the long term price of most mineral commodities is either constant in inflation-adjusted terms, or declining.*

Figure 1, adapted from Deverell and Yu (2011) shows the price of iron ore since 1885, corrected for inflation and plotted on a relative log scale.

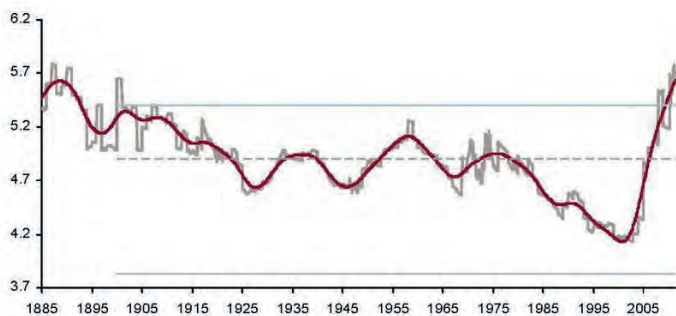


Figure 1 Iron Ore Price since 1885

Apart from the dramatic short-term price spike in the early 2000s, the long-term trend in iron ore price is unambiguously *declining.*

The same trend is evident with the long-term price of copper shown in Figure 2.

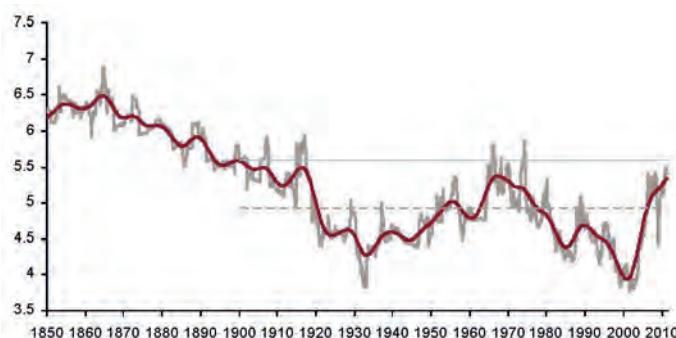


Figure 2 Copper Price since 1850

Despite increased demand, despite deeper more complex and lower-grade orebodies, and despite increased environmental and safety imposts, technology to find and exploit orebodies at competitive commodity prices has more than kept pace with the rate of exhaustion of known deposits over at least 150 years.

The long-term price reflects the fundamental costs of production. This declining trend is almost totally due to advances in technology.

It is technology applied to finding previously unknown deposits or understanding existing deposits better. It is technology applied to the mining of deposits previously considered too difficult, too complex, or

perhaps too unsafe to mine. It is technology applied to extracting minerals in ways previously too hard to extract.

Technology finds its way into mining in many ways. It may be widely applicable or narrowly focussed. It might be just different but not necessarily better. For every idea put to practical use there are probably 10 ideas that end up in a dead end. There are probably another 10 ideas that just establish the groundwork – ideas examined years or decades previously in some university or some corporate back-room environment.

This technological advancement is the foundation of how the world advances, however long it sometimes takes to come to fruition in standard-of-living terms, and however unrecognized and unappreciated it often is in the mainstream consumer world.

### 3 TECHNOLOGY

Technology and economics are integrally linked. Technology and mining are integrally linked.

Runge (1995) examined the growth of technology starting from before the industrial revolution in England, how the mining industry adopted the technology, and how this affected both the industry and the wider community.

Technology is a part of mining now more than ever before. The following sections set out examples from the last 40 years of extensive use of technology in mines around the world to draw some lessons for the mining industry today. The lessons apply to any technology, but the primary focus is on computer technology aimed at planning and operating mines better.

#### 3.1 Computer Applications and Mine Design.

Early computer tools for equipment simulation and mine design were very primitive, but so too would any new technology seem to be when viewed from 40 years in the future. Reliable results from these early applications were only possible if the work was being undertaken by someone well-versed and experienced in the system and aware of its

limitations – someone who was wary of the kinds of situations likely to yield unreliable results.

Nevertheless, huge gains were made because the technology allowed things to be done that were previously not possible to do. The analysis of the complex interaction between multiple trucks and loaders was something not hitherto possible. A mine plan that previously took weeks of tedious hard work to schedule just once could be scheduled in less than an hour. For the first time this facilitated analysing alternative mine layouts and alternative schedules that were simply impossible to conceive previously.

Today the tools are immensely more powerful and sophisticated.

Have there been significant *economic* gains? There has been a saving in planning personnel manpower. Complex mines have been commissioned where previously the complexity would have been a barrier to start-up, though this doesn't necessarily mean economic gains over mines from the previous era.

The greatest economic gains come from better decisions, and judging by decision-making in the industry today it is hard to conclude that better decisions are now being made than in previous eras. The problems stem from lesser involvement of experienced personnel with the introduction of technology; from planning personnel distracted by the technology to the detriment of mine economics; and from technology that automates a planning process that is itself flawed or inappropriate to the application.

This is the key conclusion of this paper: *that the advances in computer applications for the analytical aspects of mine planning have not been matched by advancements in the understanding of the process of mine planning, with some of the biggest potential economic benefits not being realized.*

I illustrate this firstly with an example from a study of a large South African dragline mine planned in the late 1980s. A stylized mine layout with the different directions of mining possible is shown in Figure 3.

Dragline mines always progress in strip-by-strip fashion, because the waste from each strip

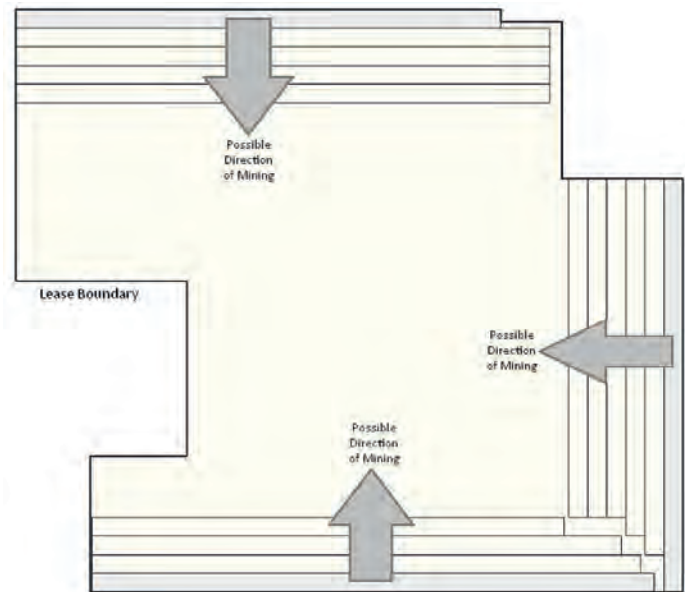


Figure 3 Stylized Plan View of Open Pit Dragline Mine

is placed in the mined-out void from the previous strip. The starting point is usually the coal outcrop or some property boundary. In this deposit the topography was undulating and the coal seam was relatively flat-lying and it extended over almost the whole lease area. There was no outcrop, and no obvious place to start mining. Such a case presented a prime target for the new (at the time) technology. For the first time in such an environment it was possible to try multiple different mine layouts with mining advancing in just about any conceivable direction. The company undertook such a study, analysing scores of layouts and schedules. The optimum mine plan was the layout and schedule that yielded the lowest price of coal when assessed on a discounted cash flow, net present value basis.

Unfortunately, the planning personnel inadvertently fell into the “knowledge problem” trap that was the subject of the paper referred to in Runge (1995). The “knowledge problem” isn't a problem explicitly associated with technology, but technology – in this case by using the power of the computer to examine many hundreds of cases – can deceive us into believing that our assessment has been comprehensive. In this case, although the personnel involved were experienced mining engineers, they had limited knowledge of dragline operations, and simply failed to examine a set of cases that were (as it turned

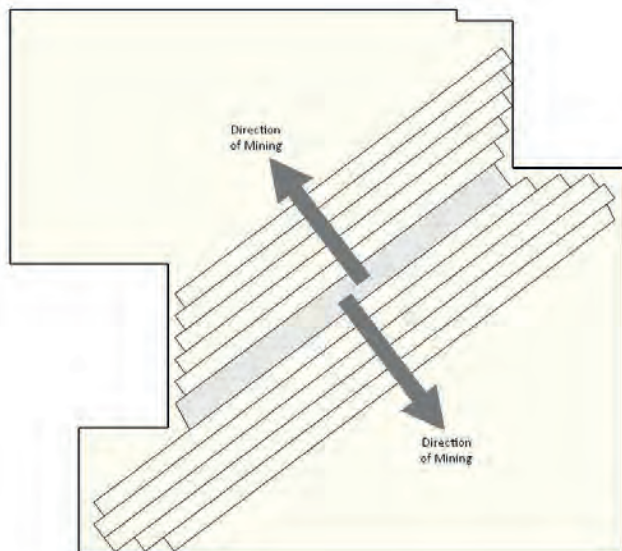


Figure 4 Final Configuration and Mine Layout

out) 30% more cost efficient than the best case previously studied. The selected case started with a boxcut in the centre of the deposit (excavated by shovels and trucks) and progressed in two directions outward as shown in Figure 4.

Technology is a tool, but deciding how to use it and how to rely on it is a task quite different to the task of using it. This is not a case of “garbage in, garbage out.” Nor is it a shortcoming in the computer program. It is an example of a shortcoming in the *process* of planning a mine.

“Experience” definitely provides some protection against this shortcoming, but it isn’t

the only tool that can provide such guidance. Nevertheless, with the advent of advanced technology the value of experience has often been overlooked. Sometimes other computer tools can help make these choices (i.e. to determine if something is worth studying, or not). The lesson, however, is that the task is not something that can be assigned to a lesser experienced person simply because he or she has the requisite computer skills to drive the program. Understanding the *process* is something quite different to undertaking the *tasks* that make up the process.

This example showed a 30% lower cost of production than the case that might otherwise have been chosen. Such huge changes in economics are not uncommon *at the start of mining projects*.

This characteristic of mining, e.g. the inability at the start to define a comprehensive set of alternatives for evaluation and consideration, is something that sets our industry apart from most other industries.

### 3.2 Early Stage Assessments and Choices Subject to Uncertainty

This section extends the example from above, and again illustrates the importance of correct *process* in early-stage assessments.

Figure 5 shows a classical sub-vertical-trending metalliferous orebody that is subject to possible mine development either as an open

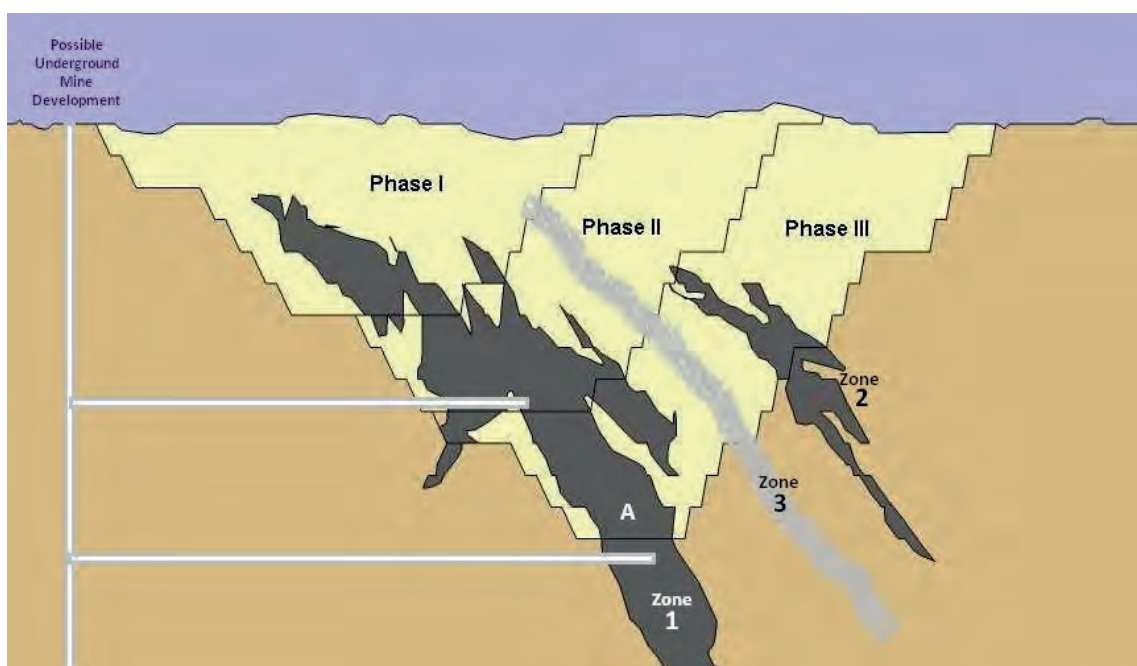


Figure 5 – Example Metalliferous Deposit and Possible Mining Methods

pit mine or as an underground mine. Two high-grade zones (Zone 1, and Zone 2) have been identified, with a third ill-defined region of lower-grade mineralization (Zone 3) also present. The highest grade of ore so far identified in the deposit is located at “A.”

Consider now the characteristics of this deposit and the decision-making environment that might lead to an optimum way of exploiting it. Five characteristics are shown in Table 2.

Table 2 only covers a few of the differences between the mining methods. Also, the mining methods are themselves not necessarily exclusive - open pit mining can coexist with underground mining, and frequently does in mines around the world. Choices are not “digital” – hundreds of variations and combinations are possible, and not all of the subtle differences between the variations can be identified in advance, or even reduced to economic criteria. The complexities in this example are similar to the example shown in the previous section.

In the previous section the shortcoming in

the process of evaluation was ascribed to the “knowledge” problem. This section introduces another aspect of the process that can lead to sub-optimal results, namely, the risk of *path-dependent evaluation processes*.

For example, at the early stages of evaluation, if a geologist believes that the deposit is likely to be mined by underground methods, then he or she can logically and rationally choose to ignore the uneconomic mineralization in Zone 3. It costs money to drill out and evaluate deep deposits and there is little point in doing so if it will never be mined. This omission will have no bearing on the net present value of any future underground mine.

Consider now any subsequent assessment of the deposit *as an open pit mining proposition*. The mineralization in Zone 3 won't be evident - it likely won't even be shown on geological plans. The net present value of any open pit mine will not benefit from this inclusion. Due to the early-in-the-process assumption by the geologist the comparison between open pit and underground mining options has been biased towards the underground mining option.

Table 2 Deposit Characteristics with Open Pit Mining and Underground Mining Alternatives.

Characteristic	Typical Open Pit Mining Method	Typical Underground Mining Method
<b>Sequence of Mining</b>	The highest grade ore will not be accessible until the last stages of the mine life	There is scope to mine the highest grade ore relatively early in the mine life
<b>Ore Grade for Economic Viability</b>	Ore in zone 3 is viable to mine because the material has to be extracted anyway. Once there is already a processing plant in place and once the material has already been hauled to the surface, the return from this lower grade ore is attractive	Zone 3 is uneconomic when mined using underground methods. Narrow ore zones within Zones 1 and 2 may also not be mineable.
<b>Reserves</b>	Maximum extraction of in-situ mineralization	Proportion of in-situ mineralization that can be extracted is much less.
<b>Development Effort and Timing</b>	Requires extraction of the shallower reserves first. Even the shallow reserves may require a lot of waste to be prestripped before reaching the first ore. Initial development work (prestripping) can be expedited using contract earthmoving	More flexibility in choosing which ore can be mined first. Initial development work (shafts, drives, stope development) constrained (cannot easily be expedited) because of limited access and tasks undertaken in series
<b>Exploration Effort and Data Reliability</b>	Reserves that are mined first are best known (shallowest, easiest to drill out) reducing risk and increasing reliability of plant design and marketing.	Deep reserves are expensive to drill out in advance. Higher cost, up-front geological assessment.

Indeed, this result “confirms” the judgement of the geologist in the first place to exclude the mineralization in Zone 3. The process just followed is a path-dependent one. The wrong result will potentially be arrived at even though all choices leading to that point were logically and systematically made.

This path dependency is an endemic characteristic of any decision process where there is uncertainty that can be resolved only at a cost that itself impacts the viability of the project. Path-dependent processes don't necessarily yield incorrect answers, and even where they do few operators would even be aware of it because the alternative path that was not followed (the opportunity cost) is seldom evident. Runge (2000, p. 128) sets out a number of examples of such processes.

As with the previous example, the evaluation of the various alternatives in this case is definitely one for modern computer tools. But the lesson with use of these tools is the same: the greatest economic value added (or greatest loss of economic value suffered, even if unknowingly) occurs at the start of projects, and is a function of the process followed and the choices as to which cases are to be examined.

## 4 DECISIONS THROUGH THE COMMODITY PRICE CYCLE

Decision-making in the mining industry extends across a spectrum from the urgent (survival) to choices spanning decades. All the of the previous examples have been on the less urgent part of this spectrum. This section considers decisions on the more shorter-term part of the spectrum.

The impact of shorter term commodity price changes can be dramatic, and any assessment and valuation of the economics of mines in the longer term must also consider how well-equipped the mine is to handle circumstances in the shorter-term. Mines that can readily adapt – either because of deposit characteristics, or because of mining methods selected, or because of some other characteristic - are to be preferred over mines that are less adaptable.

### 4.1 Technical and Economic Impact of Commodity Price Changes

Figure 6 shows the price of iron ore over the last 8 years.

The price changes from an initial high of US\$180/tonne in early 2008, to a low of just one-third of that later in the same year; to a



Figure 6 Iron ore price 2008-2016

Import price of Iron Ore fines (62% Fe) into China. Price in US\$ per dry metric tonne. Data from [www.fullertreacymoney.com](http://www.fullertreacymoney.com)

high of more than US\$180/tonne in early 2011, and to a low of less than US\$40/tonne at the end of 2015. The current price (March, 2017) is around US\$90/tonne.

Commodity price changes over the last eight years may have been more dramatic than in most 8-year periods, but nevertheless, these fluctuations are a characteristic of mining much more than most other industries. Imagine the impact on industries such as motor vehicle manufacturing, or house construction if the selling price of their product fell by two-thirds in less than one year (2008 in the above figure) or more than doubled in price in one year (as in 2016 in the above figure)?

How can price changes of this magnitude (and changes in the way that the mine is operated) be reconciled with the long-term trends and application of technology discussed in the first part of this paper?

Assuming you were involved in assessing an iron ore deposit, or in planning a mine, or in managing a mine during this period, how would price changes like the ones shown in Figure 6 impact your decision-making?

**Reserves:** The tonnage of reserves that are viable at \$40/tonne will almost certainly be less than the tonnage when the selling price is \$180/tonne. What should be the basis for reporting reserves? How should exploration effort be prioritized over this period with change in selling price? If some mineralization is clearly not viable at current prices, but is likely to become viable under some future envisaged price scenario, should it be examined now, and at what cost?

**Mine Design:** An “Optimum” pit when the selling price is \$40/tonne is surely much smaller and a different shape than an “Optimum” pit when the selling price is \$180/tonne. If a mine has been designed, and is in operation, using the “optimum” pit shape based on the “\$180/tonne” price, then at some other price how much “less-than-optimum” is it, and what should be the strategy for changing the design to accommodate the changed price?

**Management:** Anyone can look good managing a mine during periods of high commodity prices. But when selling prices are low many operating mines are unprofitable and require a lot of cash to keep running. Closure

might not be a viable option, because high closure costs might require even more cash. Yet low points in the commodity price cycle are when the raising of cash is the most expensive - when the marginal cost of capital is highest. What should be the strategy to avoid this vicious circle? Is there anything that can be done prior to mine start-up, or is it something that can really only be addressed operationally?

These are not just rhetorical questions. It is not sufficient to simply focus on keeping the costs of production in the lowest quartile of the industry. Mining companies have failed because the commodity price remained below the long-term trend price for too long, and they ran out of money waiting for the upturn.

The answer to the questions is one for each specific mining operation, however there are guidelines to be drawn and lessons to be learnt that apply to all mines.

## 4.2 Change.

Every mine changes throughout its life. It changes because the orebody changes. It changes because the price of the product changes. It changes because demands of the customers change. And it changes because technology changes.

One lesson from the last 8 years is that our ability to adapt to change has been found wanting. This isn't surprising since when mines are being planned few operators plan for adaptability.

Classically mine assessments are based on relatively fixed scenarios, albeit examining multiple alternative mine plans consistent with that scenario. The scenario is initially taken as a given by the mine planners because it involves inputs outside of his or her area of expertise – expected selling price, cost of capital (required return on investment), market characteristics etc. Sensitivity studies are conducted to assess the impact on the net present value of various changes to these starting assumptions.

However in the face of significant change in some fundamental parameter operators don't just accept the change as implied by the sensitivity analysis. The mine plan changes to

respond to the external changes. Only then does the ability and resilience of the mine to respond to change become evident.

Could this “ability and resilience of the mine to respond to change” have been understood *before the mine was commenced*? If so, a more robust alternative plan better able to cope with the change might have materialized.

How do mining enterprises value plans that are more resilient over plans that have less ability to change and adapt? How can increased expenditure leading to increased adaptability ever be justified when under any base case (fixed) scenario the less adaptable alternative (with lower capital requirements) will yield a higher return on investment?

### 4.3 Commodity Price Cycles and Management Decision-Making

Most technological advances and long term cost-of-production efficiencies originate with technical professionals, often in conjunction with operations personnel who have the most knowledge of aspects of the mine that might be done better.

Improving efficiency means change – doing something a “better way.” At least initially this takes additional time, effort and investment compared to simply maintaining the status quo. At what stage does implementing change make sense?

Implementing change takes time that may not be available. Short-term commodity price changes exacerbate the problem. As a technical person focussed on improving efficiency how can these constraints be reconciled?

Consider again Figure 6 as a proxy for any short term commodity price cycle, characterized in three phases, labelled “A”, “B”, and “C.”

*Commodity Prices Increasing (Phase “A”).* During the “up” phase of the cycle, few mining enterprises are interested in efficiency; they are interested in expansion, and production (often “at all costs”). Skilled operational personnel are hard to find, and operational efficiencies suffer. Economics favour expansion and maximization of production because the profit from an additional tonne is more important

than increased profit from [more efficient] current production tonnes. This phase is *not* characterised by mine efficiency.

*Commodity Prices Decreasing (Phase “B”).* During this “down” phase of the cycle company management is focussed on cutting costs. The focus is on reducing any costs where the return is not immediate – exploration and long term planning, for example. The economic driver is survival and protection of cash, meaning reduction of working capital and minimization of development effort. This too is not the phase characterised by mine efficiency.

*Stability, and “Reasonable” Returns (Phase “C”).* This phase – the current phase of the commodity price cycle – represents the best opportunity for technology professionals to really make a difference to mine efficiency. Commodity prices have risen from the cyclical low point, cash flows have improved, and debt has been reduced. Mining companies are aware than many of the cost savings during the previous phase were of a temporary nature. Also some savings achieved were at the expense of higher costs later in the mine life. Whilst in this phase few mining companies have any appetite for large capital expenditures, modest capital expenditure on technological improvements justified on the savings from these improvements can be supported.

## 5 CONCLUSION

There is a well-known saying commonly considered to be a Chinese curse about “living in interesting times,” and that certainly describes the mining industry over the last decade. Yet for those of us on the technology and economic assessment side of the industry the situation today offers many opportunities for challenging and interesting jobs and improvements across the whole spectrum of mining.

- The industry is now entering an efficiency regime from previous expansion and cost cutting regimes. Opportunities abound.
- Whilst the opportunities to add the greatest economic value present themselves at the



start of projects, the same conditions occur with any major change in the mine – particularly changes that facilitate recapitalization following change of ownership or change of mining method. Judicious use of technology, coupled with more robust evaluation processes, can yield great returns in this environment.

- For mines already in operation there is scope for changes that can also yield great returns. Even without quantum changes, myriads of smaller changes can lead to efficiencies that aggregate into large economic improvements. New mines commence with limited knowledge of many characteristics – the orebody, processing limitations and subtleties, and market requirements. Now, after some time in operation, all of these things are better known. Re-examining all aspects of the mine to refine operations (often termed de-bottlenecking) can yield high marginal returns for relatively small additional investment.

Runge, I. C. 1998 *Mining Economics and Strategy* Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado

Runge, I. C. 2000 *Capital and Uncertainty – The Capital Investment Process in a Market Economy* Edward Elgar Publishing Limited. Cheltenham, Glos, UK

## REFERENCES

Baumol, W.J, and Blackman, S.B.B, 1993. Natural Resources, in *The Fortune Encyclopaedia of Economics* (ed: Henderson, D.R.), pp 40-43, Warner Books, Inc: New York

Deverell, R and Yu, M. 2011 *Long Run Commodity Prices: Where Do We Stand?* <http://www.credit.suisse.com> Commodity Research Report, Credit Suisse.

Repetto, R, 1987. Population, Resources, Environment: An Uncertain Future, *Population Bureau*, 42:2, quoted in Baumol and Blackman (1993)

Runge, I. C. 1995 Economics, Technological Change and the Knowledge Problem. *Proceedings, APCOM XXV, Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industries*, AusIMM, Melbourne, Australia.

# Current Status of Secondary Raw Material Processing in Japan

T. Fujita, G. Dodbiba, J. Ponou

Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, Tokyo, 113-8656, Japan

**ABSTRACT** Current status of secondary raw materials in east Asia and world is initially described. Next, the trends of secondary raw materials processing, and waste treatment in Japan is shown with material flow and acts. The intermediate treatment companies and smelting companies and cement industries are contributed for the recycling in Japan. Also the recent new technologies for the sustainable development of secondary material processing for recycle in Japan are introduced.

## 1 INTRODUCTION

Nowadays, in Japan, about 300 calcite mines from small to large scale (Limestone assoc., 2017) are operating, however, there is only one coal mine (Kushiro coal mine Co., Ltd., 2017) for training and only one commercial scale operating metal mine (Hishikari Mine, 2017) producing gold. Therefore, the metal import and recycling to get secondary raw materials are very important for Japanese industry.

METI (Agency for Natural Resources and Energy, 2017) in Japan promotes the cooperation of exploration and environmental operation in foreign countries, recycling, stock, research of alternative materials production, the research of exploiting the bottom of the sea, cultivation of human resources development for minerals and energy.

## 2 BACKGORUND OF SECONDARY RAW MATERIALS IN EAST ASIA AND WORLD

Printed circuit boards (PCBs), consisting of several mounted parts and motherboard, are used in many kinds of industries. They contain many kinds of metals, which should be recycled. PCBs are produced mainly East Asia, including Japan as shown in Figure 1. Most of electrical and machine parts in the world are produced in those countries like PCBs. The East Asian countries have discussed recycling technologies and policies in the symposium on East Asian resource recycling technology for about 30 years. The eight categories of topics are shown in Figure 2. The largest number of topics depends on

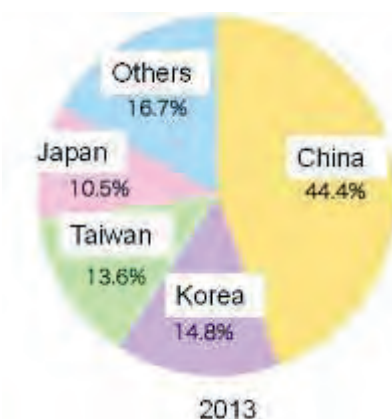


Figure 1. Print circuit board (PCB) production in the world (Economic news 2013)

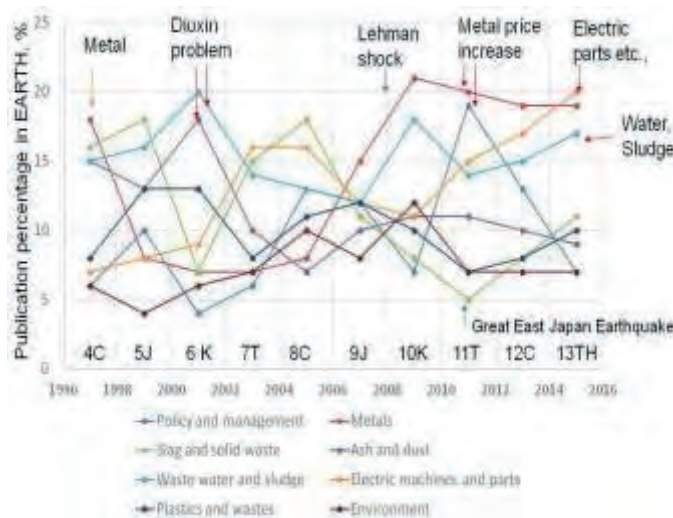
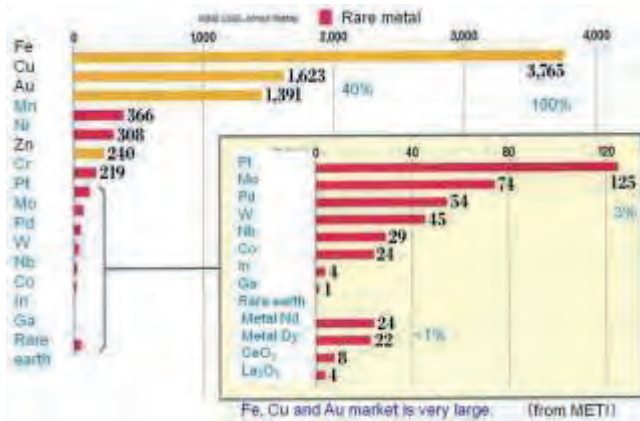
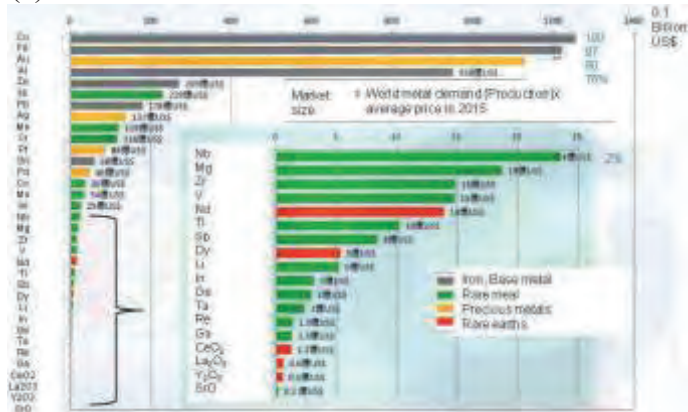


Figure 2. Past publication in eight categories percentage in Symposium on East Asian Resource Recycling Technology (EARTH, 2015)

the importance in each period. Recently, the research topics on the electric parts and metal recycling, as well as on water sludge treatments are increasing. Metal prices increased 2011, however, the prices decreased and recently they are stable. Figure 3 shows the comparison of world metal market in various metals between 2012 and 2015. In 2012 iron is the largest market and if iron is 100%, copper and gold is 40% and the rare metals are several percent. However, in 2015, the iron price decreases and the copper becomes the largest market. If the copper is 100%, iron is 97%, gold is 90% and aluminum is 76%. Therefore, the copper and gold recycling becomes more important, while the circulation of iron scrap becomes difficult.



(a) 2012



(b) 2015

Figure 3. Comparison of world metal market in various metals between 2012 and 2015 (METI,2016)

The future demand of metals comparing 2020 and 2030 is listed in Table 1. In the base metals demand, aluminum and copper will increase more than 3 times in 10 years. In the rare metals, the demand is much larger than base metals, especially lithium, cobalt and rare earth demand is 8, 6 and 5.9 times, respectively. Rare metal utilizes renewable energy production and to save the energy. The lithium and cobalt is utilized in the secondary battery and rare earth is necessary for production of strong magnet and LED etc.. On the other hand, according to the UNEP's report published in 2011 the percentage of metal recycling is not so large (Table 2).

Table 1. Forecast of world metal growth rate of supply and demand in 2020 and 2030 (MERI/J, 2015).

Metal	Growth rate of supply and demand per year, % (from 2020 to 2030)	Supply and demand (production) per year in 2020	Supply and demand (production) per year in 2030	Reference
Fe	1.8	1700 Mt	2050 Mt	JFE group
Al	3.7	65 Mt	74 Mt	USGS
Cu	3.4	26 Mt	37 Mt	World metal statics
Zn	2	14.5 Mt	16.5 Mt	ILZSG
Pb	1.2	12.8 Mt	14 Mt	ILZSG
Ni	2.3 → 1.8	2.2 Mt	2.6 Mt	Wood Mackenzie
Co	6 (Increase)	0.13 Mt		CDI
Mn	3.2 → 1.7	19 Mt	23 Mt	BHP Billiton
Li	8	0.045 Mt		TRU
Rare earth	5.9	0.14 Mt		Roskill
Pt*	2	125 t (139)	143 t (173)	MERI/J
Pd*	1.4	246 t	280 t	MERI/J

\* only for automobiles

Table 2. The recycling rate of lithium and rare earth

Recycling rate	Metal Abundance of metals			
	more than 1000ppm	1000-100ppm	100-1ppm	Less than 1ppm
50%以上	Al, Fe, Ti, Mn	Cr	Ni, Zn, Cu, Co, Nb, Pb, Sn	Ag, Pt, Au, Pd, Re, Rh
25-50%	Mg		Mo	Ir
10-25%		W		Cd, Ru
1-10%				Sb, Hg
Less than 1%		Ba, Sr, V, Zr	Li, Ga, B, Hf, Be, Ta, Ge, As Rare earth	Tl, Se, In, Bi, Te, Os

Metal recycling percentage of used materials and metal terrestrial abundance (UNEP, 2011) were less than 1%. The new recycling technology and design to reuse these metals will be necessary.

### 3 BACKGROUND OF SECONDARY RAW MATERIALS IN JAPAN

In Japan, resource productivity forecast is shown in Figure 4. Resource productivity is GDP / volume of resources. It gradually increases and will reach 460 thousand yen per ton in 2020. The material recycle forecast in Japan is shown in Figure 5. Metal recycling rate of Japan will be 17% in 2020. Final disposal forecast in Japan is shown in Figure 6. The disposal area is not enough in Japan, and the final disposal of Japan will gradually decrease to 17million tons in 2020. Figure 7 shows the comparison between 2000 and 2012 for material flow in Japan. Comparing past and present, the import amount is almost same, however, in 2012 the domestic resource amount supply, the final disposal and the total material input decrease more and the volume of recycle use increase, therefore, the material reduction is proceeding.



Figure 4. Resource productivity forecast in Japan (Ministry of the Environment, 2015)

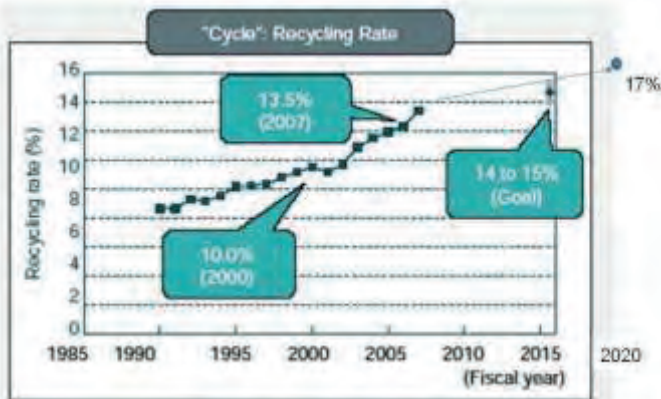


Figure 5. Forecast of Material Recycling in Japan. (Ministry of the Environment, 2015)

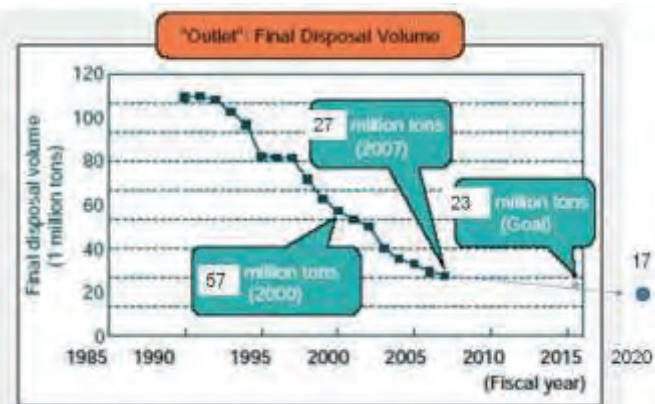


Figure 6. Final disposal forecast in Japan (Ministry of the Environment, 2015)

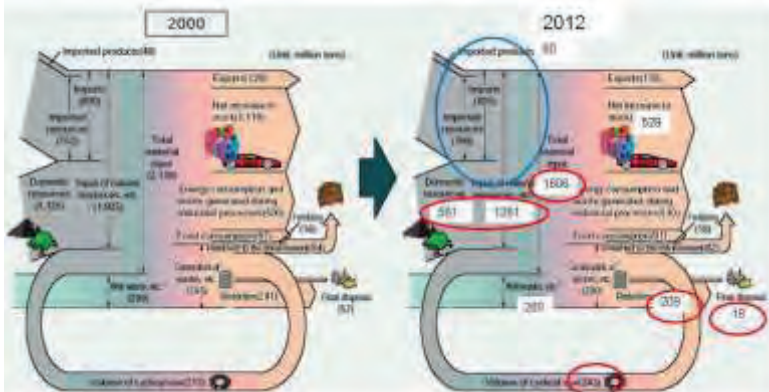


Figure 7. Comparison between 2000 and 2012 for material flow in Japan (Ministry of the Environment, 2015)

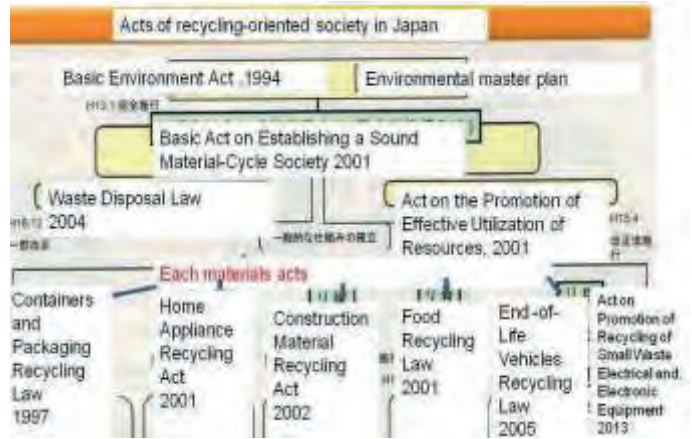


Figure 8. Acts of recycling-oriented society in Japan

Acts of recycling-oriented society in Japan is shown in Figure 8. Basic environment act, the promotion of effective utilization of resources and waste disposal law are established in 1944, 2001 and 2004, respectively. After 1997 to 2013 each material acts are established in six kinds of materials and improved.

#### 4 WASTE TREATMENT AND RECYCLING COMPANIES IN JAPAN

In Japan there are many intermediate treatment contractors. In Table 3, the world enterprises are listed comparing Suzutoku Holdings in Japan. There are many big companies in the world and Suzutoku Holdings is number 8<sup>th</sup> in USA and Europe.

Table 3. World enterprises for recycling and waste treatment in USA and Europe (Waste age 100,2015)

Company in USA	Sales revenue Billion \$	employee number
1 Waste Management Inc	13.9	43,500
2 Republic Services Inc	8.4	30,000
3 Clean Harbors Inc	3.5	13,180
4 Suezcycle Inc	2.1	12,008
5 Progressive Waste Solutions Ltd	2.0	7,500
6 Waste Connections Inc	1.9	7,000
7 Covanta Energy Corporation	1.6	3,500
8 Suzutoku Holdings	1.3	5,000
9 Recology	0.7	2,900
10 Runway Consolidated Companies Inc	0.5	5,000

Company in Europe	Sales revenue Billion €
1 Veolia	7.0
2 Suez Environnement	6.4
3 Birmuda	5.3
4 Abris	2.7
5 FCC	2.6
6 Sphar	2.2
7 Thyssen	1.7
8 Vao-Saatenrinkel	1.2
9 Compi	1.0
10 Hiltz-Gytag	0.9

Market change of resource circulation in Japan is listed in Table 4. Recycling industry produces new business. Japanese market for resources circulation is about 400 billion dollars. Waste treatment and recycling industry is about 40 billion dollars.

Table 4. Market change of resources circulation (Sakai, 2015)

Market change of resources circulation, 0.1 billion yen				
Classification	2000	2005	2010	2013
Waste treatment and utilization	394,602	438,217	420,378	437,790
Recycling	39,058	37,858	34,783	37,593
Containers and Packaging	251	546	426	393
Home Appliance Recycling	0	546	1,129	513
automobile recycling	0	207	340	316
Reuse of parts and resources	354,536	387,740	364,560	374,102
Long life design	909	12,619	21,035	26,094



Figure 9. Waste treatment and recycling smelter in Japan (JMIA, 2015)

Table 5 Materials to utilize in the cement industry (Taiheiyo Cement Co., 2007)

Materials	Main Utilization	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Blast furnace slag	R,M	11,179	9,291	9,214	9,191	9,364		
Coal ash	R,M	8,495	8,237	1,193	8,981	7,264		
Sludge	R	2,419	2,349	2,525	2,861	3,111		
Construction soil	R	975	1,899	1,897	2,591	2,843		
Gypsum	R	1,330	2,573	3,187	3,187	2,818		
Incinerated ash	R,T	953	1,110	1,193	882	1,171		
Slag	R	1,140	1,295	1,119	1,198	1,001		
Sand blast	R	595	897	891	850	819		
Steel making slag	R	577	465	467	629	549		
Waste plastics	T	205	283	387	385	482		
Woods	R,T	271	391	342	312	318		
Refined oil	T	238	236	229	248	271		
Oil	T	172	214	219	229	281		
Alumina	R,T	87	116	123	112	181		
Slagheap	R,T	326	237	289	290	155		
Waste tire	R,T	232	271	184	183	148		
Meat-and-bone meal	R,T	132	96	95	14	71		
Others	-	379	457	469	615	523		
<b>Total</b>		<b>27,584</b>	<b>29,790</b>	<b>29,593</b>	<b>30,889</b>	<b>31,121</b>		
Utilization kg per ton cement, kg/t		<b>175</b>	<b>181</b>	<b>181</b>	<b>183</b>	<b>181</b>		

Waste treatment and recycling smelter in Japan is shown in Figure 9. Waste metals, waste lead battery, shredder residue and electric furnace dust etc. are marked. Approximately 40 companies are operating. After recovery of metals, inorganic waste is used in cement industry. Materials to be utilized in cement industry are listed in Table 5. Municipal solid waste ash treatment in cement industry as one example is shown in Figure 10. Chlorine content in cement has

to be reduced. Many kinds of inorganic nonmetal wastes are utilized to produce cement. Therefore, the cement factory is located all over Japan. The cement factory map in Japan is shown in Figure 11.

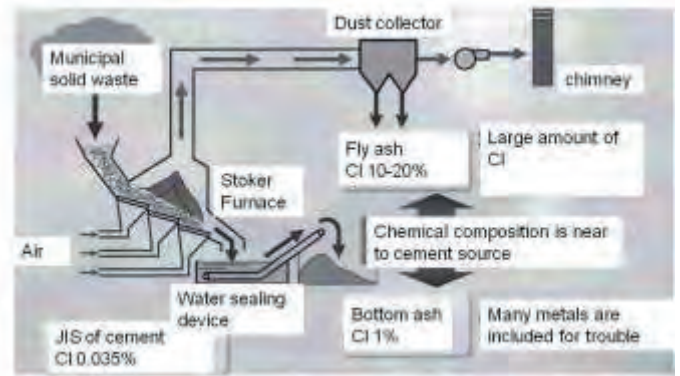


Figure 10. Municipal solid waste ash treatment in cement industry. (Taiheiyo Cement Co., 2016)

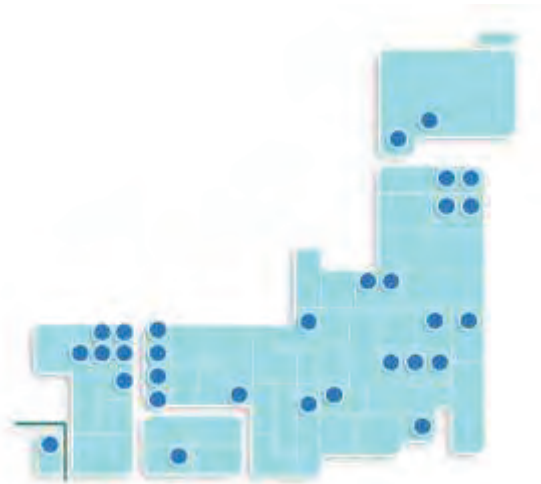


Figure 11. Cement factory map in Japan (Japan Cement Association, 2017)

## 5 SECONDARY RAW MATERIAL TREATMENT FACILITIES IN JAPAN

Japanese several groups of smelting companies to recycle metals are introduced in this session. Recycle network in JX Nippon Mining & Metals Co. group is shown in Figure 12. Seven places are connected for recycling. Hitachi metal-recycling company (HMC) collects various kinds of metals. Recycle network in DOWA Eco-system is shown in Figure 13. There are seven places to connect the recycling system. The incineration plant in Eco-system Akita treats many kinds of waste materials. Recycle network in Mitsubishi Materials Co. is shown in Figure 14. The recycle system connects in about 10 places. Naoshima smelter recovers various metals. In Figure 15 the material flow in Mitsubishi Materials Co. is shown. The various base and rare metals and precious metals are recovered and

produced. Recycle network in Mitsui Ming & Smelting group is shown in Figure 16.

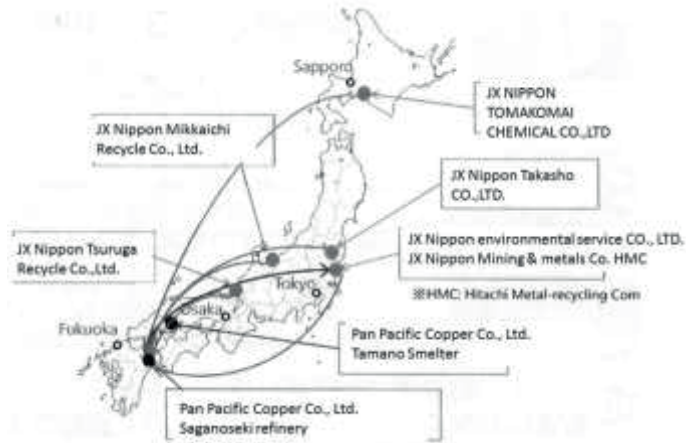


Figure 12. Recycle network in JX Nippon Mining & Metals Co. group. (JX Nippon Mining & Metals, 2017)

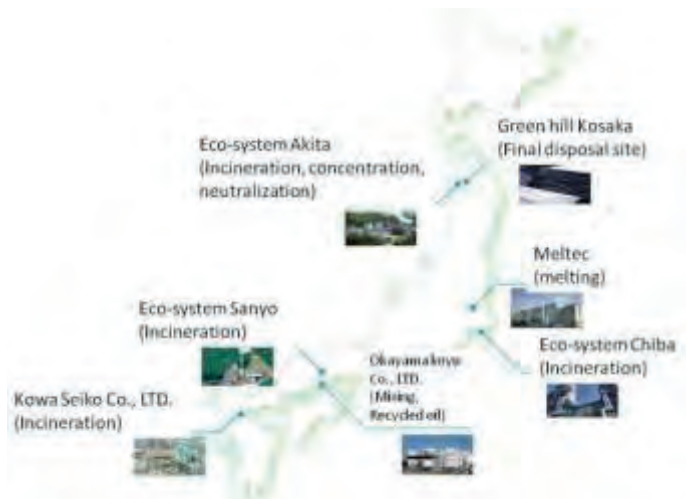


Figure 13. Recycle network in DOWA Eco-system (Dowa Eco-system, 2017)

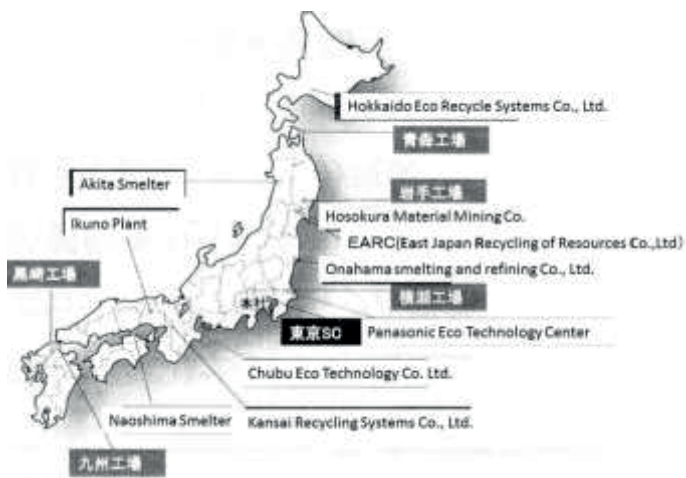


Figure 14. Recycle network in Mitsubishi Materials Co. (Mitsubishi Materials Co., 2017)

Seven places are connected for recycling. Especially Takehara refinery collected various metals. Waste PCB treatment plant in Mitsui Ming & Smelting is

shown in Figure 17. After crushing of PCBs, iron and aluminum are removed in Takehara refinery. The remainder is incinerated by kiln gasification and copper containing precious metals are recovered.

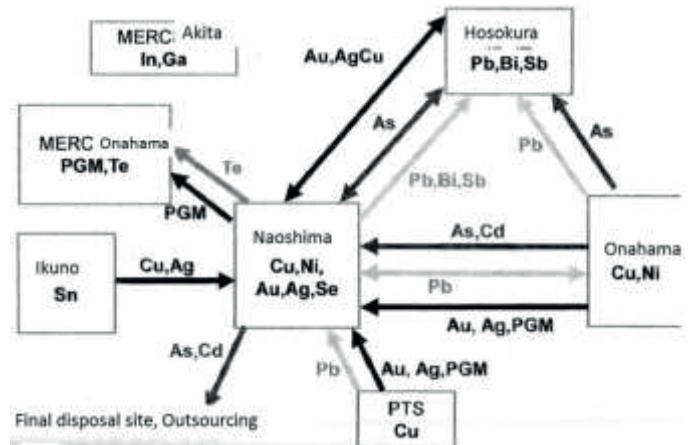


Figure 15. Material flow in Mitsubishi Materials Co. (Mitsubishi Materials Co., 2017)

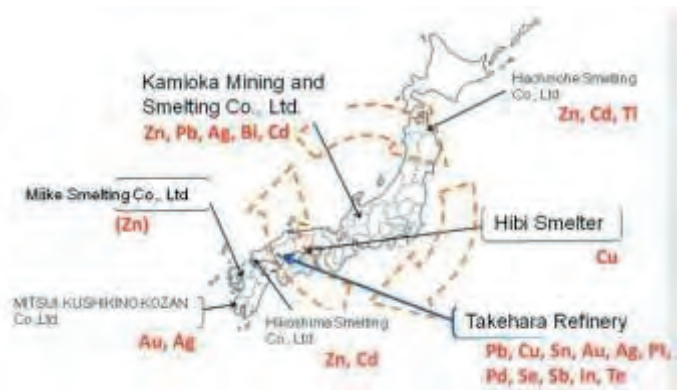


Figure 16. Recycle network in Mitsui Ming & Smelting Co., Ltd. group. (Mitsui Ming & Smelting, 2017)



Figure 17. Waste PCB treatment plant in Mitsui Ming & Smelting Co., Ltd. (Mitsui Ming & Smelting, 2017)

Produced recycled metals in Taehara refinery of Mitsui Ming & Smelting plant is shown in Figure 18. The metals are processed in different size and sent.

Precious metals recovery process in Naoshima smelter of Mitsubishi Materials Co. is shown in Figure 19. De-copperized slimes go to flotation process and silver is recovered by cupellation and electro refining, while gold is collected with wet chlorination process.

## 6 SECONDARY RAW MATERIAL PROCESSING AND RECENT TECHNOLOGY

### 6.1 Crushing as pretreatment of recycle

For the separation to get the secondary raw material processing, the liberation is important, therefore, the large size crushing to liberate to the same materials lumps by preventing the over finer crushing. One of method is electrical crushing in water. The liquid crystal display (LCD) is sandwiched with ITO coated two glasses and films. If the high voltage pulse in more than 50kV is applied to LCD, large current flows in micro second period and the LCD panel can be separated two parts. (Dodbiba, 2012) In Figure 21, the LCD is set in the water and applied high voltage pulse. It is possible to separate 40-inch size of LCD. The crushed ITO coated glass is easy to dissolve indium ion by acid and recovered as hydroxide.

The other method is underwater crushing. The concept of crushing is shown in Figure 22. The explosive hanging in the water is exploded and shockwave and bubbles are periodically appeared. (Dodbiba, 2012) Setting of sample and photos of sample and crushed powder of hard tungsten scraps by underwater explosion and flowsheet to recover APT is shown in Figure 23. (Baik, 2004) Underwater crushing is convenient to crush hard metals and liberate different density composite materials, erase the information and crush the battery to prevent combustion. Metal recovery from lithium ion battery Flowsheet to recycle of lithium ion battery after explosion treatment is shown in Figure 24. After the sieving, magnetic separation, eddy current separation, air table and flotation are used to separate metals, plastics and powders. (Yamaji, 2011)



Figure 18. Produced recycled metals in Taehara refinery of Mitsui Ming & Smelting plant. (Mitsui Ming & Smelting, 2017)

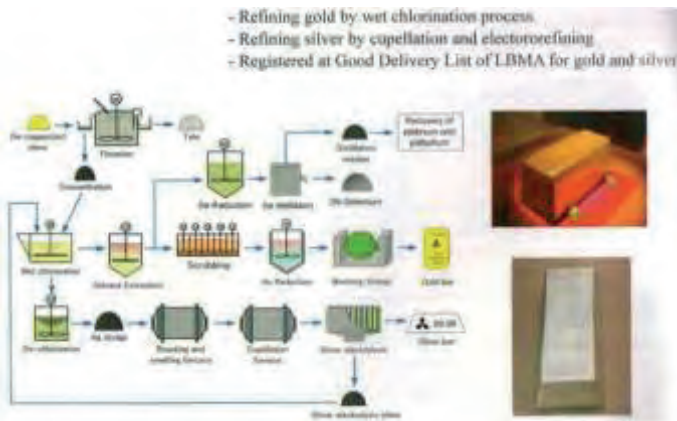


Figure 19. Precious metals recovery process in Naoshima smelter of Mitsubishi Materials Co. (Mitsubishi Materials Co., 2017)

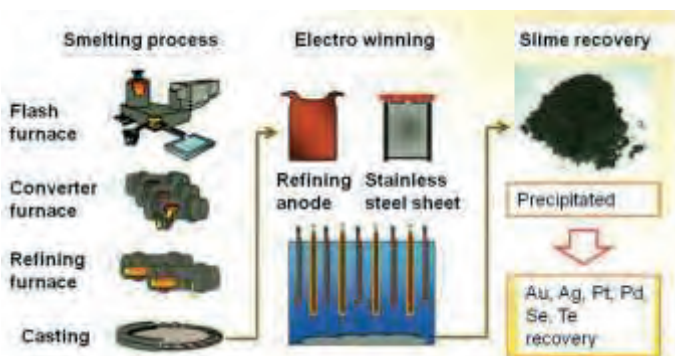


Figure 20. Copper and precious metals recovery process in Pan Pacific Company Co., Ltd. (Pan Pacific Company, 2017)

Copper and precious metals recovery process in Pan Pacific Company is shown in Figure 20. After the copper is recovered by electro winning, precious metals are collected from the slime.

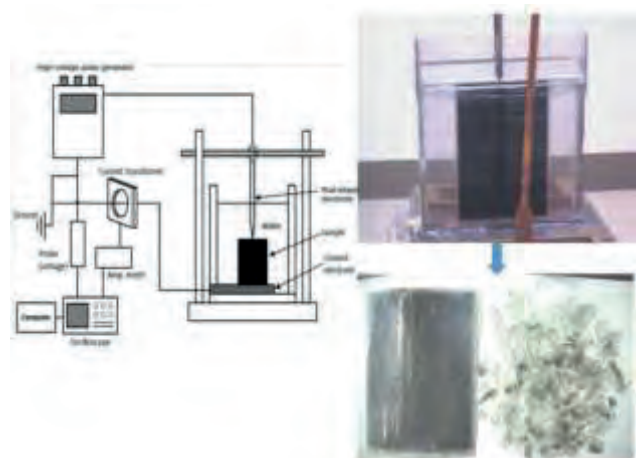


Figure 21. Electrical crushing apparatus, setting liquid crystal display (LCD) in water and crushed glass. (Dodbiba, 2012)

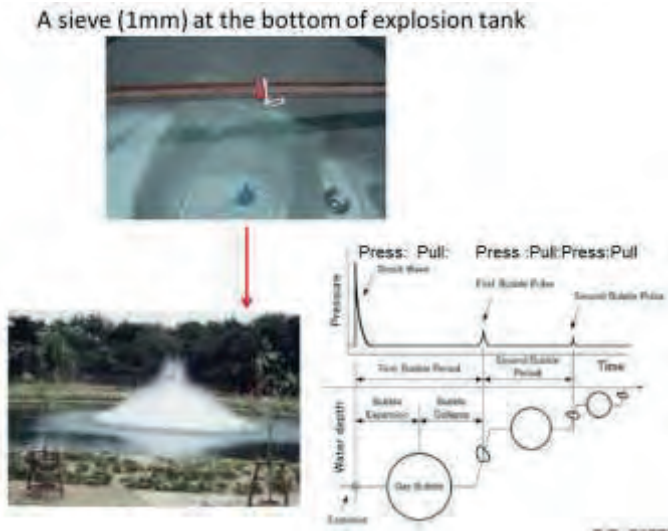


Figure 22. Underwater explosion pond to crush the materials and pressure and bubble size change in water (Dodbibia, 2012)

6.2 Dismantling and sorting for recycle

Recent number of recycled home appliances in Japan is shown in Figure 25. CRT recycle number increased in 2010 because the terrestrial digital broadcasting system was adapted in Japan. Nowadays, washing machine and refrigerator represent the largest number of recycled home appliances. Robots are used to dismantle flat panel TV and after crushing home appliances the copper pipes are separated by using color sorter. Those photos are shown in Figure 26.

Aluminum is used as many kinds of alloys, which contains number 1000's to 7000's. If many kinds of alloys are dissolved to recycle, large amount of aluminum dross is produced and discarded. LIBS sorter can fast analyze aluminum composition in alloy by laser and separate aluminum alloy fragments by air spray or puddle. The photos of LIBS and separation results is shown in Figure 27.

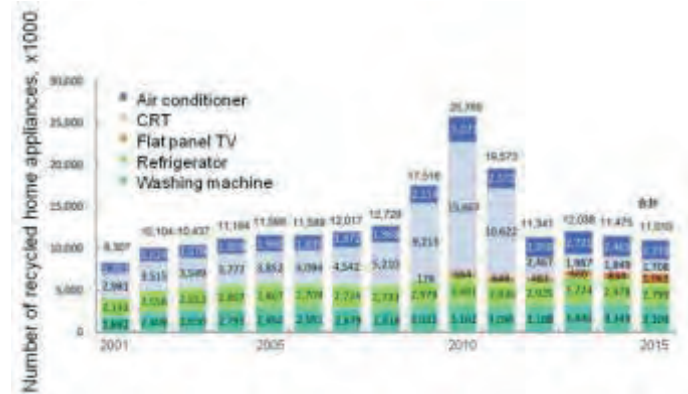


Figure 25. Recent number of recycled home appliances in Japan. (Association for electric home appliances, 2017)

6.2 Some new separation technologies

Dry fluidized bed separation using fine spherical iron powder like 0.3 mm is shown in Figure 28. The air is blowing from the bottom of iron sand bed. The apparent density is about 3g/cm<sup>3</sup>. More than several mm of aluminum solid float on the bed and can be separated from the other sank heavy metals like copper, brass and lead. The continuous dry fluidized bed equipment is also developed. (Nagata Engineering, 2017)

The separation using magnetic fluid is the technique more than 30 years ago. Recently the cheap water based magnetic fluid (about 10\$/litter) is developed and utilized in the separation of floated zinc alloy particles from sank heavy copper and lead particles in shredded automobile scraps. (Kyushu metal Industry, 2017) The photo of magnetic fluid sink and float separator is shown in Figure 29.

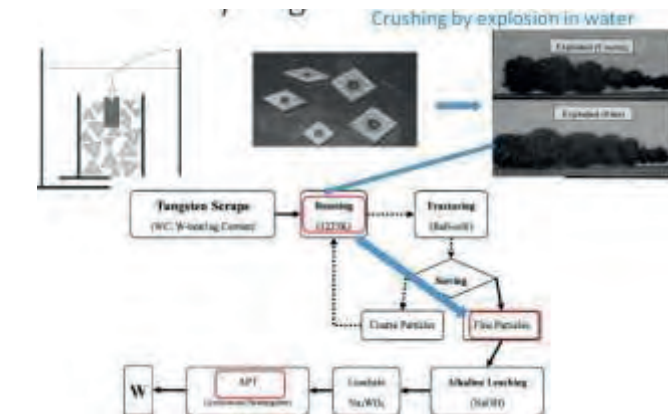


Figure 23. Setting of sample and photos of sample and crushed powder of hard tungsten scraps by underwater explosion and flowsheet to recover APT. (Baik, 2004)

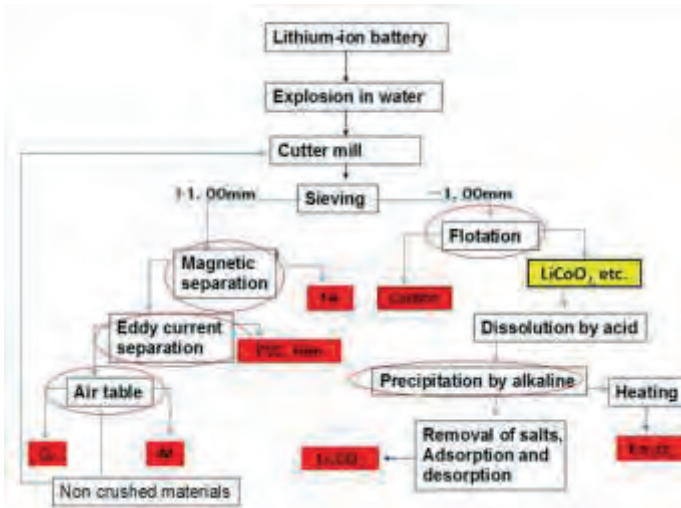


Figure 24. Flowsheet to recycle of lithium ion battery after explosion treatment (Yamaji, 2011)



Flat panel TV decomposition by robot



Color sorter to separate copper metals  
95% grade at 0.2t/hr



Figure 28. Dry fluidized bed separation using fine iron powder. (Nagata Engineering, 2017)

Figure 26. Photographs of TV decomposition by robot and Color sorter to separate copper (Mitsubishi Material Co., 2015)

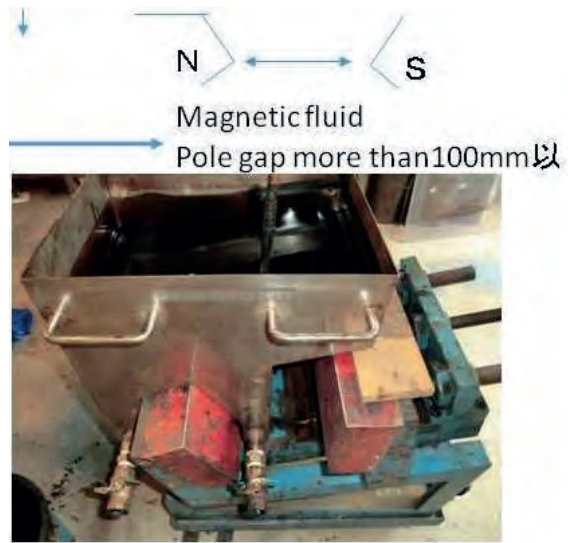
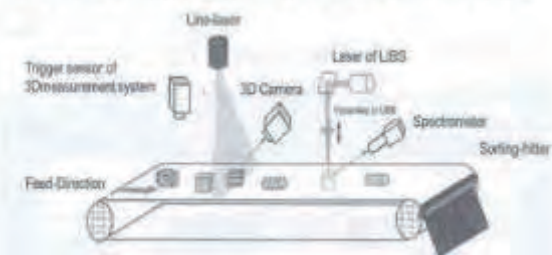


Figure 29. Sink and float separator using magnetic fluid (Kyushumetal Industry Co., Ltd, 2017)



LIBS sorter prototype containing the MopaLIBS Line sensor



Aluminum Alloy	Cast	Wrought Aluminum				
		2000's	3000's	5000's	6000's	7000's
Purity (wt%)	—	50.0	99.2	99.3	100	100
Recovery (wt%)	0	100	99.2	98.4	96.1	96.3
		Al-Cu	Al-Mn	Al-Mg	Al-Mg-Si	Al-Zn-Mg

Figure 27. LIBS sorter photograph and explanation and aluminum alloy separation result by LIBS (Harita metal Co., Ltd., 2017)

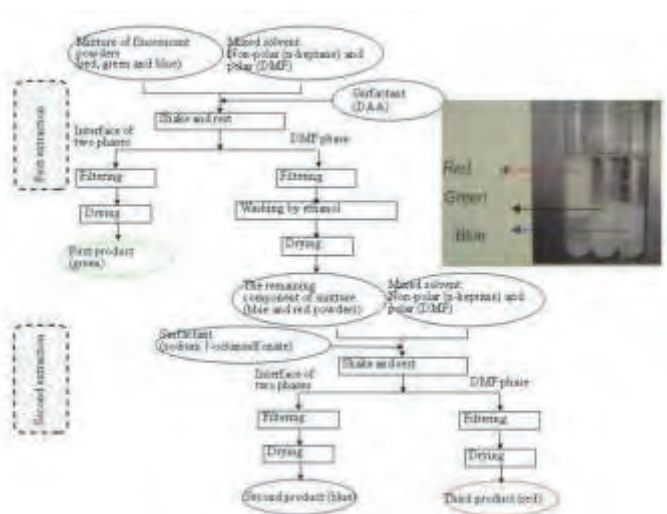


Figure 30. Flowsheet for separating three kinds of fluorescent powders by liquid-liquid powder extraction method. (Otsuki, 2006)

Fine particles mixture can be separated by liquid-liquid powder extraction. One liquid is hydrophobic light oil and the other liquid is heavy hydrophilic liquid like water. If the particles are coated by the surfactant and the particle surface becomes hydrophobic, they are moved to oil phase and dispersed in oil phase. While, non-coated hydrophilic particles are dispersed in water phase. Therefore, the different material particles are separated using liquid-liquid powder extraction by adding optimum surfactant. Flow sheet to separate three kinds of fluorescent powders by liquid-liquid powder extraction is shown in Figure 30. The red, green and blue fluorescent powders have been separated at more than 90% grade and recovery. (Otsuki, 2006)

In the recycling of PCB, the several separation techniques combination is useful to separate different materials after heat treatment like carbonization. The recycling flow sheet for printed circuit board by physical separation and heat treatment and photos of separated copper and silica by carbonization are shown in Figure 31.

The ion exchange resin is useful to separate mixed precious metal ions in nitric acid aqueous solution. Pt, Ag, Pd and Cu recovery in nitric acid solution by using iminodi-acetic acid type chelate resin is shown in Figure 32. The adsorption and stripping processes separate Ag, Pt, Pd and Cu ions, respectively. (Tanaka Holdings, 2017)

The conventional solvent extraction uses mixer and settler, which need large operation area. The emulsion flow method is developed as shown in Figure 33. Upper and lower fine nozzles can produce fine emulsion that specific surface area is large, therefore, metal ion can be captured by solvent extractant in the high capacity and fast speed. (Yanase, 2011)

In the recycling, large amount of scrap collection is important. If the collected amount is small, the company has to stock the scrap till enough amount collection. The mobile type container for recycling of rare earth magnets is considered as shown in Figure 34. One container contains the crusher, leaching apparatus, emulsion flow solvent extraction cell, crystallization, filtration and drying equipment. (Kawabe, 2017) The Nd and Dy ions leached solution are separated by solvent extraction using PC88A or D2EHPA.

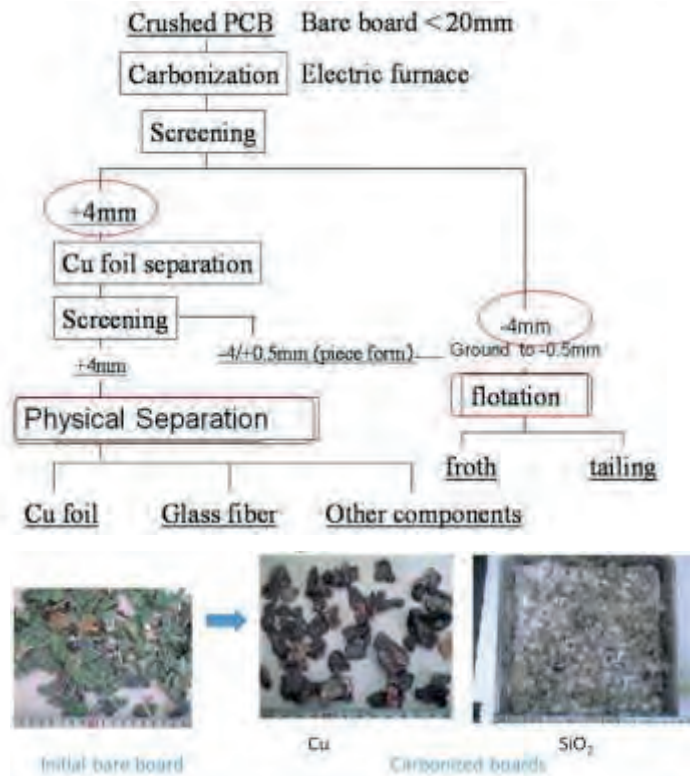


Figure 31. Recycling flowsheet of printed circuit board by physical separation and heat treatment and photos of separated copper and silica by carbonization. (Fujita, 2014)

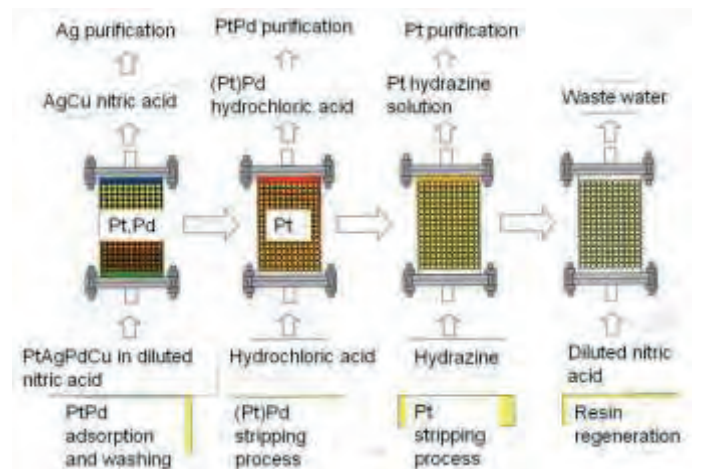


Figure 32. Pt, Ag, Pd and Cu recovery in nitric acid solution by using iminodi-acetic acid type chelate resin. (Tanaka Holdings, 2017)

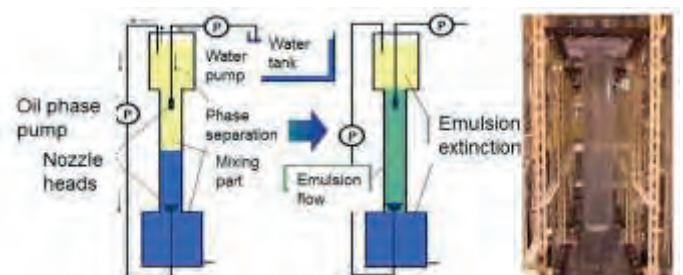


Figure 33. Emulsion flow for rapid solvent extraction method (Yanase, 2011)

## 7 CONCLUSION

Recently the metal mineral grade is decreasing in the mines all over the world, therefore, it is important to proceed the secondary raw material processing as recycling. In Japan the intermediate treatment companies and smelting companies and cement industries are contributed for the recycling of metals and industrial minerals processing. Some new technologies are developed in the field of crushing, sorting, density separation, adsorption, liquid-liquid powder separation and solvent extraction, etc.. Also, as the future resources in Japan, the metal collection research from seafloor and seabed minerals is studied as shown in Figure 35. The system to construct environmental friendly material circulation society for sustainability is shown in Figure 36. The produced artifacts should be designed, produced, utilized and discarded by considering the conservation of the balances of resource, energy and environment. Though the life cycle only includes from the production to wastes, the total life-cycle contains the reuse and recycle of wastes, environmental burden estimation of artifacts and the cost and relationship between society and artifacts. The circulation society should be considered all over the world as listed in sustainable development goals by United Nations (United Nations, 2015).

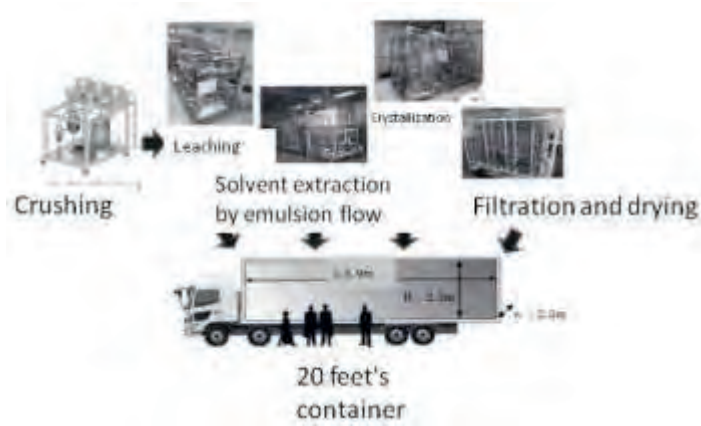


Figure 34. Mobile type container for recycling of rare earth magnets (Kawabe, 2015)

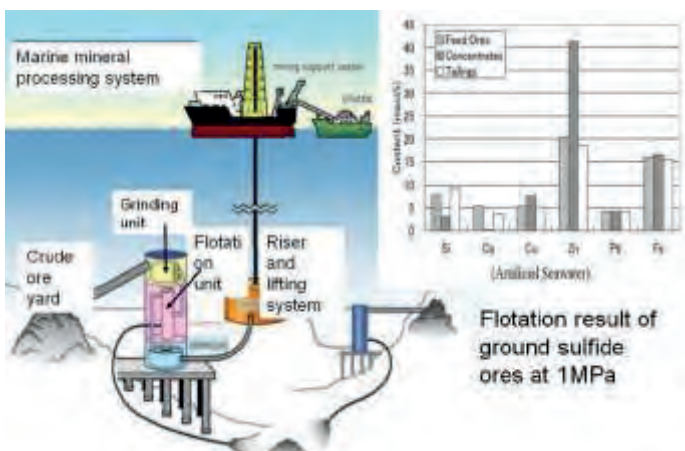


Figure 35. Development to collect seafloor and seabed resources. (Nakajima, 2012)

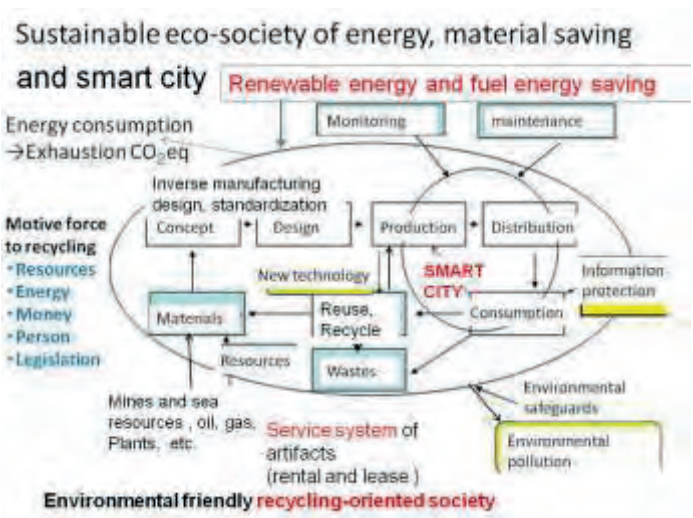


Figure 36. Sustainable eco-society considering circulation oriented society.

## References:

- Agency for Natural Resources and Energy, 2017  
<http://www.enecho.meti.go.jp/en/>
- Association for electric home appliances, 2017  
[http://www.aeha.or.jp/recycling\\_report/03.html](http://www.aeha.or.jp/recycling_report/03.html)
- Baik, S.W., A. Shibayama, K. Murata, T. Fujita, The Effect of Underwater Explosion on the Kinetics of Alkaline Leaching of Roasted Tungsten Carbide Scraps for Recycling, Int. J. Soc. Mater. Eng. Resour., Vol. 12, No. 2, 55-59, 2004
- Dodbiba, G., K. Murata, K. Okaya, T. Fujita, Liberation of various types of composite materials by controlled underwater explosion, Minerals Engineering, Vol.89,63-70,2016
- Dodbiba, G., H. Nagai, L. P. Wang, K. Okaya, T. Fujita, Leaching of indium from obsolete liquid crystal displays: Comparing grinding with electrical disintegration in context of LCA, Waste Management, Vol. 32, Issue 10, 1937-1944, 2012
- DOWA ECO-SYSTEM Co.,Ltd., 2017  
<http://www.dowa-eco.co.jp/business/waste/>
- EARTH,2015  
<https://www.mtec.or.th/earth2015/index.php/component/content/article/9-uncategorised/1-introduction>
- Economic news, 2013  
<https://www.yiconsulting.com.tw/news/47310.html>
- Fujita, T., H. Ono, K. Yamaguchi, G. Dodbiba, Evaluation of a recycling process for printed circuit board by physical separation and heat treatment, Waste management 34, 1264-1273, 2014
- Hishikari mine, 2017  
[http://www.smm.co.jp/E/corp\\_info/domestic/hishikari/kyoten.html](http://www.smm.co.jp/E/corp_info/domestic/hishikari/kyoten.html)
- Harita metal Co., Ltd., 2017  
<http://www.harita.co.jp/technology/advanced-recycling/lib/>
- Japan Cement Association, 2017  
<http://www.jcassoc.or.jp/cement/2eng/index.html>
- JMIA(Japan mining industry Association),2016  
<http://www.kogyokyokai.gr.jp/category/1850702.html>
- JOGMEC, 2017  
<http://www.jogmec.go.jp/english/index.html>
- JX Nippon Mining & Metals, 2017  
<http://www.nmm.jx-group.co.jp/english/>
- Kawabe, K., Mobile recycle to reduce the capital investment, Eco materials Forum, 23-32, 2015
- Kushiro coal mineCo.,Ltd.,2017  
<http://www.k-coal.co.jp/>
- Kyushu metal Industry Co., Ltd, 2017  
<http://www.nishitetsu.ne.jp/kyusyumetal/>
- Limestone association Japan, 2017  
<https://www.limestone.gr.jp/introduction/qa.htm>
- METI, 2016 from world metal statistics (WBMS) and world metal commodity summaries (USGS)
- MERI/J, Automobiles and metal, No. II Metal market, No. 214, 2015
- Ministry of Environment, 2015  
[https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h27/pdf/2\\_3.pdf](https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h27/pdf/2_3.pdf)
- Mitsui Ming & Smelting Co., Ltd, 2017  
<https://www.mitsui-kinzoku.co.jp/en/>
- Mitsubishi Materials Co., 2017  
<http://www.mmc.co.jp/corporate/en/>
- Mitsubishi Material Co., 2015  
<http://www.mmc.co.jp/corporate/en/>
- Nakajima, Y., J. Yamamoto, S.Kanada, S. Masanobu, I. Takahashi, J. Sadaki, R. Abe, K. Okaya, S. Matsuo, T.Fujita, Study on seafloor mineral processing for mining of seafloor massive sulfides, Proc. of the ASME 2012, 31st Int. Conf. on Ocean, Offshore and Arctic Eng., OMAE2012-83354, 1-7, 2012
- Nagata Engineering Co., 2017  
<http://www.nagata-kit.co.jp/j12-003%20dry.pdf>
- Otsuki, A. et al.: Solid-solid separation of fluorescent powders by liquid-liquid extraction using aqueous and organic phases, Resources Processing, 53(2006),121-133.
- Pan Pacific Company Co., Ltd., 2017  
<http://www.ppcu.co.jp/eng/index.html>
- Sakai S. Material cycle and waste management research,26, p.430, 2015
- Taiheiyo Cement Co.,2007, 2016  
<http://www.taiheiyocement.co.jp/english/index.html>
- Tanaka Holdings Co., Ltd., 2017  
<http://pro.tanaka.co.jp/en/solution/main-product/product02/index.html>
- UNEP,2011  
[http://www.unep.org/resourcepanel/portals/24102/pdfs/metals\\_recycling\\_rates\\_110412-1.pdf](http://www.unep.org/resourcepanel/portals/24102/pdfs/metals_recycling_rates_110412-1.pdf)
- United Nations, 2015  
<http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>
- Waste age 100, 2015  
<http://www.waste360.com/special-report-waste360-top-100>
- Yanase, N., H. Naganawa et.al.:New apparatus for liquid-liquid extraction, “Emulsion flow extractor”, ANALYTICAL SCIENCES FEBRUARY, 27,171-176, 2011
- Yamaji,Y., G. Dodbiba, S. Matsuo, K. Okaya, A. Shibayama, T. Fujita, A Novel Flow Sheet for Processing of Used Lithium-ion Batteries for Recycling, Resources Processing, Vol. 58, 9-13, 2011

# *Can Geometallurgy Add Tangible Value During the Production Phase of Mining Projects?*

JW Mann<sup>1,2</sup>, M Becker<sup>1,2</sup>

*1 Centre for Minerals Research, Department of Chemical Engineering, University of Cape Town, Rondebosch*

R Schouwstra<sup>2</sup>, DJ Bradshaw<sup>2</sup>

*2 Minerals to Metals Initiative, Department of Chemical Engineering, University of Cape Town, Rondebosch*

**ABSTRACT** A significant body of fundamental geometallurgical research has been conducted in the last two decades. Historically geometallurgy has evolved in the technical sphere mainly through collaboration of geologists and metallurgists. It has been focused on improved sampling and measurement of predictive ore characteristic properties for integration into the resource block model, using information derived primarily from drill core data at the feasibility and prefeasibility stages of mining and processing. Its major value to date for the industry has been the improved ability to establish 3D spatial models, thus providing a more robust methodology to converting a mineral Resource to a mineral Reserve.

Currently however, it is the exception, rather than the norm, for geometallurgy to be actively applied to operational production activities, to manage ore body variation across the full sequence of activities in the mining value chain.

Under the prevailing global financial climate, with continuing volatile commodity prices and stunted world economic growth, mining companies have had to take austere measures to “get their balance sheets right”. Sustainable management measures to adapt to uncontrollable changes and volatility in the commodity market are rapidly being exhausted.

Surviving and new operations are called to extract the maximum value from their existing mineral endowments, and deliver consistent, predictable metal production. Operational resilience - the ability of an organisation to prevent disruptions from occurring, as well as the ability to respond quickly to, and recover from, a disruption in the primary business processes, has become an essential operational management focus.

This paper advocates that the implementation of operational geometallurgy offers industry the potential to realise significant tangible value in delivering a higher conversion of their current Resource to Reserve and ultimately improving economic extraction of value.

## **1 INTRODUCTION**

There is some early optimism of recovery in the mining industry, however, the current reality is that the medium term forecast for commodity prices and world economic growth are modest and reinvestment and growth in the sector is going to be challenging. With the severe project development cuts over the last 3 to 4 years, the lead time for new project development

and their ramp up will require that surviving operations continue to extract the maximum value from their existing mineral endowments.

The focus of existing mining operations will remain on delivering consistent, predictable production and operational resilience. A real opportunity exists to achieve this using operational geometallurgy in order to limit the extent of unforeseen production responses from ore feed

variability at the front end of the mining value chain.

A significant body of fundamental geometallurgical research has been conducted in the last two decades. However there has been limited adoption of this work in the form of a tool to manage ore body variation and systematically change operational planning and scheduling of the full set of day-to-day production activities, spanning in situ exploration, through mining and process activities to final dispatch of a product or products to the market.

The application of advance ore body knowledge in short term geological monitoring (ore control) and mine planning, and associated decision making is a critical frontier of geometallurgy – hard-won knowledge of ore body variability can be exploited to add near-term value (McKay *et al.*, 2016).

This paper reviews the impact of the recent history of the global commodity markets on the mining industry. It discusses the emergence of the enduring need for the concept of "operational resilience" and the potential of operational geometallurgy to limit unforeseen production responses from ore body variability at the feed end of the value chain.

## 2 REVIEW OF GLOBAL TRENDS IN THE MINING INDUSTRY

The PricewaterhouseCoopers (PwC) annual review of 2015 global trends in the mining industry (PwC, 2016), found that the Top 40 mining companies experienced their first ever collective net loss, their lowest return on capital employed, unprecedented capex containment and the tag team effect of prevailing debt levels plus impairments, sending leverage to new heights. The market capitalisation of the Top 40 was at the lowest level seen since 2004. The June 2016 market capitalisation of the Top 40 was only a third of its value from five years ago, and the combined market capitalisation of the traditional companies went below book value. All gains made during the commodity super-cycle were effectively wiped out.

Capital efficiency hit at an all-time low. In 2015, the adjusted return on capital employed (ROCE) halved from 8% to 4% year-on-year. This compares to the commonly cited 15% hurdle rate for new projects and the rising costs of capital. Without impairments included, the ROCE was negative. The significant drop off in capex will inevitably slow future growth. The industry received broad ratings downgrades from key agencies throughout 2015 and the beginning of 2016. Overall, finance costs were higher in 2015, despite the decrease in borrowings. Interest expenses as a percentage of total debt increased from 5% to 7%. The Top 40 appear to have worked smarter and implemented more productive methods to drive greater volume growth from existing plant and equipment at lower unit costs.

In the face of continued weakening commodity prices, to survive, Major traditional miners began 2016 attempting to manage debt and shedding non-core assets, mothballing marginal projects or curtailing capacity. There was a significant drop-off in capex, signalling an almost stagnant investment environment. At the time of the writing of this paper (March 2017), almost nine months have passed since the publishing of the PwC 2016 annual review of global trends in the mining industry.

The exploration sector remained depressed again in 2016 and, after a record high in 2012, exploration budgets have now fallen for four consecutive years. Exploration budgets for all three stages of project development (grassroots, late stage and minesite exploration) continued to retreat in 2016 from 2012's record highs (SNL Metals & Mining Research, CES - Minesite exploration hits record-high share of Budgets, 22 February 2017).

Not all discoveries turn into mines – historic conversion rates are only 60-80%, depending on the metal, size, quality and location. For the successful projects, there is a lag of 10-15 years between discovery and development. (Schodde. MinEx Consulting, November 2011).

The Scenario however, appears to be improving: According to S&P Global Market Intelligence (Worldwide Mining Exploration Trends, March 2017) the past year was a better one for mining. Nevertheless, concern remains. Commodity markets are delicately poised. The current reality is that the medium term forecast for commodity prices is modest. The International Monetary Fund Commodity price data projects almost flat line movement in most metal commodity prices over the near term i.e. to December 2018.

With the severe project development cuts over the last 3 to 4 years, the lead time for new project development and their ramp up will require that surviving operations continue to extract the maximum value from their existing mineral endowments.

It is clear that the mining industry is still particularly vulnerable. The forecast of prolonged flat-line of the near term metal commodity prices, the paucity of free cash, a lower appetite for expansion (from lenders and shareholders alike), the broad ratings downgrades from key agencies for the industry and the resultant higher finance costs will inevitably result in an extended hiatus in new project development and exploration expenditure.

In this paper we argue that sustainable management measures to adapt to the uncontrollable changes and volatility in the commodity market (variability at the tail end of the value chain) are rapidly being exhausted. The current industry commodities price downturn has decisively swung the emphasis from volume to value.

Management action should now also focus on the limiting the extent of unforeseen production responses from variability on the front end of the value chain. There is growing evidence verifying the economic value of advance knowledge about the variable distribution within an ore body of mineralogy, alteration and structural features and the response their changes cause to equipment and process performance.

Existing mining operations are called to extract the maximum value from their existing mineral endowments, and deliver

consistent, predictable production. Operational resilience - the ability of an organization to prevent disruptions from occurring as well as the ability to respond quickly to, and recover from a disruption in the primary business processes, has become an essential operational management focus.

In a geometallurgical context, operational resilience translates explicitly into limiting the extent of unforeseen production responses from variability at the front end of the value chain. Ore variability is an inherent fact of nature. "Neither geologists, mining engineers, nor metallurgists can change the fact that all ore deposits are zoned with respect to metal grades, mineralogy, mineral abundances, mineral textures and other parameters such as physical hardness, all of which impact on the treatment costs and recovery of metals as an ore deposit is progressively mined and depleted." (Woodall, 2007 cited in Johnson & Munro, 2008). Ore feed variability can no longer be tolerated as a natural and unavoidable occurrence that impacts production.

### **3 OVERVIEW OF GEOMETALLURGY**

A significant body of fundamental geometallurgical research has been conducted in the last two decades. This was through the extensive effort by a host of research institutions and operating companies in the industry, by their own projects and via collaborative programs like AMIRA P843 & P843A.

Historically geometallurgy has evolved in the technical sphere mainly through collaboration of geologists and metallurgists, and been focused on improved sampling and measurement of predictive ore characteristic properties for integration into the resource block model. Most of these collaborative projects made use of information derived primarily from drill core data at the feasibility and prefeasibility stages of mining and processing. Its major value to date for the industry has been the improved ability to establish 3D spatial models, thus providing a more robust methodology to converting a mineral Resource to a mineral Reserve.

Geometallurgy, its tools and protocols, have to-date predominantly found application in the early phases of project development i.e. pre-feasibility, feasibility design and planning phases. (Bye, 2011; Liebezeit *et al.*, 2016)

The modelling of response variables rather than the simple use of traditional "modifying factors" now can provide a more competent statement of the economically mineable part of a measured resource as required by minimum standards, recommendations and guidelines for public reporting codes e.g. JORC, SAMREC codes.

Integration of the 3D spatial models with other independent models – geological, geotechnical, geohydrology *etc.*, and better understanding of process mineralogy, has also enabled improved mine and plant design. More recently increasing application is being found as a "Life of Mine" business evaluation and decision making tool (Macfarlane *et al.*, 2014; Butler *et al.*, 2016; Williams, S, 2017)

Currently however, it is the exception, rather than the norm, for geometallurgy to be actively applied to operational production activities, and manage ore body variation across the value chain i.e. spanning in situ exploration, through mining and process activities to final dispatch of a product or products to the market. Geometallurgy must be translated into a routine approach in mine planning and operations. (McKay *et al.*, 2016).

We argue that it is with the implementation of operational geometallurgy at this level that the industry will stand to realise significant tangible value – *i.e.* deliver a higher conversion of their current Resource to Reserve viz. materially improving ultimate economic extraction of more metal and value.

However, there are many reasons why the implementation of a multi-disciplinary approach to geometallurgy on existing sites has been low (Walters *et al.*, 2006; Alruiz *et al.*, 2009; Jackson *et al.*, 2011). These include the following:

- The existence of a strong Inter-discipline silo mentality in the mining industry.
- The lack of representation from the mining discipline during the evolution of geometallurgy as a concept.
- Little involvement by operational decision makers in the development of geometallurgical programs.
- Prevalence of discipline specific business and technical jargon, and the lack of a consistent approach in the communication of the context and purpose of both general and specific geometallurgical programs.
- The value of "geometallurgy" not clearly seen by individual disciplines, and the resultant difficulty justifying the time required and expense of acquiring relevant ore body characteristics and metallurgical response data.
- Traditional production metrics of the separate disciplines in the value chain present barriers to integrated implementation.

McKay *et al.*, (2016) posit that "this situation arises because of a communication failure in which technical specialists, including resource geologists, mining engineers, mining geologists and mineral processors can envision the value of geometallurgy. The actual delivery plan to achieve this improved value has not yet been crystallised."

This paper offers an approach to allow integrated site teams to synthesise their own site bespoke fit-for-purpose operational geometallurgical management program.

#### **4 ESTABLISHING A SITE SPECIFIC GEOMETALLURGICAL MANAGEMENT PROGRAM.**

Any operational program that is expected to deliver on potential improved value must be customised to cater for the unique set of conditions that prevail at the specific site. This includes the constraints imposed by the installed mining and processing infrastructure, the standard operational procedures and production measurement criteria. Importantly, the programme has to cater for their unique orebody and its

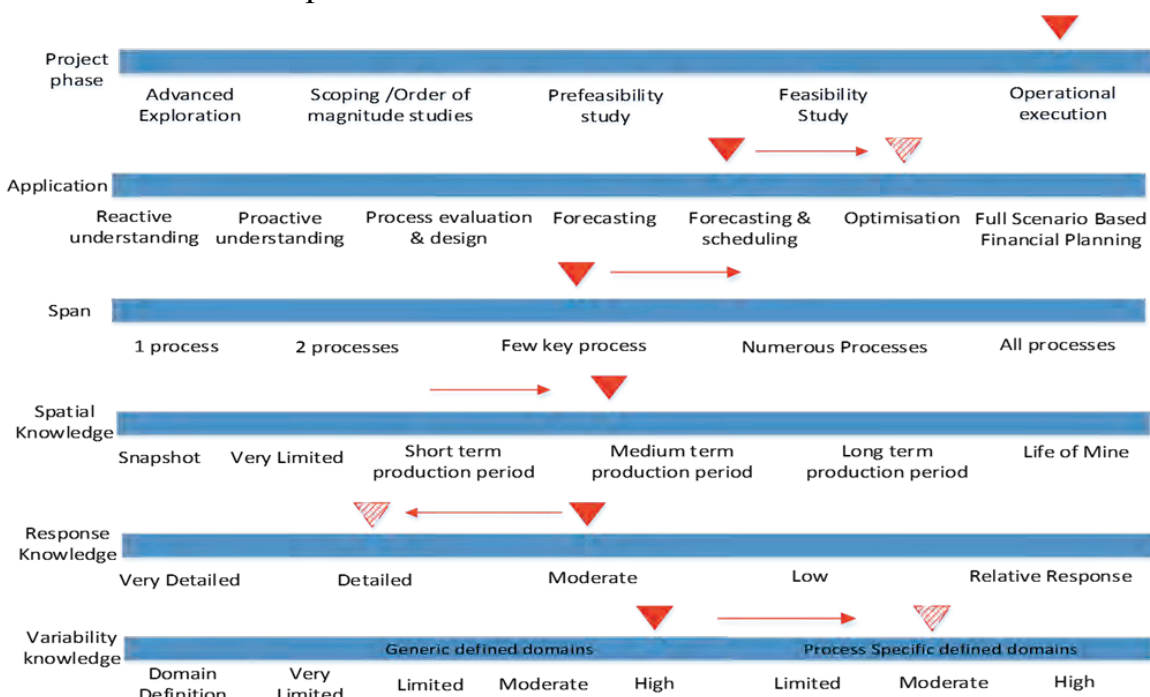


variability with respect those key ore characteristics that elicit significant responses (both negative and positive) in the installed mining infrastructure and process circuit.

This will be best achieved using a facilitated collaborative approach, involving an integrated team of the relevant multidisciplinary stakeholders and specialists (technical specialists, resource geologists, mining engineers, mining geologists and mineral processors, experienced operators etc. from across the whole value chain). "The key is communicating the right data in the right format at the right time, and having an organisational culture to do so effectively." (Cropp *et al.*, 2014). The team will need clear visibility of the whole production system, access to information that is undisputed, with clear accountabilities for driving improved operational resilience through better, smarter, faster planning, scheduling and decision making. A facilitated approach is deemed necessary to take cognisance of the fact that individual participants will have varying levels of understanding and knowledge of upstream or downstream activities, including the impacts of production disturbance caused by variation of the feed to each particular section of the production chain.

## 5 ENSURING A COMMON APPROACH TO COMMUNICATION

Jackson *et al.* (2011) presented a multi-dimensional construct for communicating geometallurgy programs consisting of six dimensions. (Figure 1) which can further considered in terms of "operational geometallurgy".



\* After J Jackson et al. (2011)

Figure 1: The dimensions of Operational Geometallurgy

*The project phase dimension* - the stage of the mineral project development life cycle at which the geometallurgical program is being applied. Operational geometallurgy is clearly in the operational execution phase of project development life cycle - it is focused on existing and operating mines, with signed off resource and reserve statements, with an established and approved mining plan, mining schedule and production targets. *The application dimension* relates to how the geometallurgical data is to be used, and ranges from reactive understanding (in hindsight) to full scenario based technical and financial assessment. The application dimension in operational geometallurgy is aimed at exerting management control on forecasting and scheduling, evolving over time towards optimisation.

*The process span dimension* refers to the number of processes under consideration within the geometallurgical program. Process here is defined in a general sense and can be a mechanical or chemical operation on the feed material, within any one of the value chain disciplines. Operational geometallurgy will initially only span the few key processes whose production performance is materially impacted by ore variability response, but could include more processes as the program matures.

*The spatial knowledge dimension* provides an indication of the volume of the mineral deposit under consideration, as a function of the production period. Operational geometallurgy is specifically limited to the volume of the mineral deposit that will be mined in the short to medium production period *i.e.* the planned ore feed.

*The response knowledge dimension* refers to the level of knowledge of the response to a process for the mineral deposit. In operational geometallurgy the degree of response knowledge of the ore feed to the process initially may only be moderate, limited to only those processes included in the process span. As the operational geometallurgy program matures it may become more detailed.

*The variability knowledge dimension* is the extent of variability of the response knowledge. This gives rise to domain definition. Domains could be either conventional generic defined domains based on traditional geological variables (lithology, grade *etc.*) or a process specific domain based on a specific process response variable or a proxy thereof. In operational geometallurgy, the extent of the variability knowledge is only within the volume of ore that comprises the feed to the operations in the short term, and will be specific to only those measurable ore characteristics or proxies that have material impact on the production performance on those processes included in the process span.

## **6 DEFINING THE AGREED GOALS OF AN OPERATIONAL GEOMETALLURGICAL MANAGEMENT PROGRAM**

For an operational geometallurgical management program (with a short to medium term operational focus) to be cost effective and operationally implementable, it should include only sufficient ore body variability information that can inform proactive production planning and action. The information should be derived at the granularity of the site's ore control drilling programme and complimented by the site's other existing models *e.g.* geological, lithological, structural, geotechnical, geo-hydrological *etc.* The degree of data required should be sufficient to provide only specific advance knowledge of the variability in the ore body that will allow alternative options to be evaluated, planned and scheduled in order to optimally extract and deliver mining blocks to the correct destination.

We propose a bottom-up stepwise approach to analyse the site's own historical production data (of each of the value chain disciplines) to identify root causes for deviation from their targeted production performance. This will enable them to develop their own fit-for-purpose operational geometallurgical management program that

will seek to maximise the value creation from stable processing of the ore being treated.

## **7 CAN GEOMETALLURGY ADD TANGIBLE VALUE DURING THE PRODUCTION PHASE OF MINING PROJECTS?**

Geometallurgy enhances and leverages the spatial knowledge of the orebody into the value-based decision space of planning and operations. This is done at two levels. Strategic geometallurgy which includes the project stage-gate and investment processes and long-term operational mine planning systems. Tactical geometallurgy is the decision mechanism whereby mined blocks are delivered to their optimal destination to maximise value (McKay *et al.*, 2016).

This paper offers an alternative definition - an operational geometallurgical management program is a routine approach to planning and scheduling operations in the short to medium term. Its primary outputs are the optimal allocation of ore blocks to specific destinations, with a dynamic mine schedule that will result in efficient extraction and transport of the delineated blocks to the pre assigned destinations (stockpile - blending, waste dumps, or directly to the processing plant). This should be executed in a time frame and sequence that will allow operational control measures (upstream and / or within the processing plant) to ensure predictable and optimal plant performance and maximum value delivery.

We believe that a stepwise approach as outlined, could produce a pragmatic implementable fit-for-purpose geometallurgical management program with defined objectives and benefits at operational mine sites.

A structured approach to analysing historical production performance across the value chain as advocated, will at the very least:

- Identify the significant causes (due to ore variability or otherwise) of production disruptions, throughout the value chain, and

identity actions to improve operational resilience.

- Create common understanding of the impacts of the identified disruptions, which can then be quantified, justifying the need (or not) for proactive management action to prevent their occurrence.

- Clearly identify which (if any) of the ore characteristics (when varying) indeed do cause responses that result in significant production or performance disruptions (whether in mining activities or processing activities), and

- whether there is any feasible proactive action (whether upstream or downstream) that can be taken, and

- whether there is any quantifiable benefit in doing so, and if so

- how, where and how frequently they need to be proactively monitored to prevent disruptions.

- Clearly define the need for (or not) and benefits of a geometallurgical management program.

- Contribute to breaking down the traditional inter-discipline silo mentality - participants will have better understanding and knowledge of upstream or downstream activities, and the impacts of production disturbances, whether by ore variation or otherwise.

If a geometallurgical management program is then established, it will be site fit-for-purpose in that it will be sampling and acquiring data on only the relevant ore characteristics at appropriate locations along the value chain, at a frequency that will allow decision making within the operational time frame required. Such an approach should contribute tangible value during the production phase of mining projects.

## **8 CHALLENGES TO THE IMPLEMENTATION OF OPERATIONAL GEOMETALLURGICAL PROGRAMS**

Historically geometallurgy has evolved in the technical sphere (head office technical specialists and consultants, and academia). The development of this scientific body of

knowledge has been primarily through the collaborative effort of geologists and metallurgists.

This body of geometallurgical knowledge has predominantly found application at the level of strategic geometallurgy in the early phases of project development - providing an information base for developing an optimised reserve, production schedule and cash flows as a time series over the Life of Mine (LOM). It has typically used relevant data (bench-scale metallurgical tests, mineralogy, geochemistry, ore texture *etc.*) to predict processing performance and to model spatial ore variability and metallurgical response throughout the LOM. This has enabled better resource definition, more optimal mine planning and improved process design over the LOM. (McKay et al., 2016).

Conspicuous by its omission, is the inclusion of any consideration for optimal mine design and extraction methodology. Indeed, one of the fundamental flaws in the historic development of “geometallurgy” as a scientific body of knowledge, is the lack of any meaningful participation from the mining discipline.

As one progresses through the early phases of project development, towards the final phases of design and engineering, construction, commissioning and operation, the level of flexibility in mining and processes design rapidly diminishes to the stage where it is fixed with the installed infrastructure and equipment. To continue to deliver optimal value, the level of geometallurgy inevitably has to move from the realm of strategic geometallurgy to operational geometallurgy. Operational geometallurgy by definition is constrained to an operational time frame – looking ahead days to weeks to months. The level of flexibility no longer resides in available alternatives for mining or processing infrastructure, but rather in options of value assignment to ore blocks and the allocation of these blocks to pre assigned destinations. This assumes efficient extraction and transport of the delineated blocks to the pre assigned destinations, in a time frame and

sequence that will allow operational control measures that ensure predictable and optimal plant performance and maximum value delivery.

Herein lies the challenge to the implementation of operational geometallurgy – the exclusion of the mining discipline during the advancement of geometallurgy over the last two decades has resulted in little or no concurrent development in mine design/ planning / scheduling or extraction activities that are commensurate with the developments in the geoscience and metallurgical disciplines. This omission did not significantly or detrimentally impact the value delivery of geometallurgical modelling in the strategic time frame - the current mining technology and capability is aligned with the more lenient long term time frame. Optional solutions to infrastructural constraints and known orebody variations or complications could be timeously evaluated and optimal solutions realistically planned and implemented.

In the realm of operational geometallurgy, called to deliver value in an operational time frame varying from days to a few months, this lack of flexibility does pose a significant challenge. With a granularity and density of information that is typical of operational sampling and performance measurement, current state-of-the-art geometallurgical tools, protocols and systems, are more than adequate for the geosciences discipline to do value assignment to ore blocks and allocate these blocks to pre assigned destinations. At the other end of the value chain, with sufficient advance knowledge, and the availability of the current state-of-the-art tools and systems to determine process response to ore variability, and with tested control action options, the metallurgical processing discipline are adequately capable of taking specific control action to ensure predictable and optimal plant performance and maximum value delivery. However, these two ends of the value chain are inextricably linked by mining activities.

We argue that the inability for the mining discipline to dynamically and rapidly re-plan and reschedule their production activities of

drilling, blasting, extraction and transportation of delineated blocks of assigned value to pre-assigned destinations in an operational time frame, is the primary hurdle to implementation of operational geometallurgy.

These mining technology constraints are unlikely to be eliminated in the short term – however this should not necessarily exclude the implementation of a bespoke fit-for-use geometallurgical program which still could deliver real value through improved operational resilience.

Another barrier to the more general adoption and implementation of operational geometallurgy within the broader mining industry, is the fact that it is a relatively young scientific body of knowledge – Its development over the last decades has been through the sponsorship of only a handful of major mining companies. We believe that wider exposure and access to the current body of knowledge, available in the public domain, could deliver real value to existing mining operations who have not been able to afford the expense of developing their own strategic geometallurgical models.

We argue that there is only limited benefit in developing a strategic geometallurgical model for established small and medium sized mining operations, particularly if they do not have a long LOM. We do however believe that real value could be delivered to these operations through the implementation of a fit-for-purpose operational geometallurgical management program. The challenge for implementation here is to enhance their capability for implementation, assuming that they have had little or no exposure to geometallurgy.

We believe that the benefits of operational geometallurgy can be realised for these small and medium sized operations, if a generic decision making framework, and a toolbox of available geometallurgical tests, equipment, protocols, models *etc.* was readily accessible. The framework should allow a multidisciplinary site team to conduct the structured and facilitated analysis of their historic production data as we have advocated above, and guide them to

identify production responses typical of their own orebody and installed mining and processing infrastructure, supported by a toolbox of available tests, protocols, technologies and technological solutions, with a list of potential service and technology providers who could cost effectively help them implement a fit-for-purpose program that will add value through improved operational resilience.

## 9 CONCLUSION

The mining industry is still vulnerable after an extended period of challenging global metal commodity market conditions and a forecast of prolonged flat-line near term metal commodity prices. The severe curtailment of capacity, exploration and project development will inevitably result in an extended lag time to bring in new production when the market does eventually improve.

To remain viable, mining operations are called to extract the maximum value from their existing mineral endowments and deliver consistent, predictable production. Operational resilience has become an essential survival strategy.

Limiting unforeseen production responses from variability in the ore feed by implementing site specific, fit-for-purpose operational geometallurgy can improve operational resilience and will add tangible value to existing operations.

A common and consistent approach to communication of geometallurgy (its context, purpose and benefits) and the establishment of shared value and benefit across all the disciplines in the entire mining value chain is a necessity for implementing an integrated operational geometallurgical management program.

Using a bottom-up stepwise approach to analyse the site's own historical production data could produce a pragmatic implementable fit-for-purpose geometallurgical management program with defined objectives and benefits.

The existing constraints of the mining discipline to dynamically and rapidly re-plan

and reschedule their production activities of drilling, blasting, extraction and transportation of delineated blocks of assigned value to pre-assigned destinations in an operational time frame, is the primary hurdle to implementation of operational geometallurgy.

The benefits of operational geometallurgy can be realised for small and medium sized operations, if a generic decision making framework, and a toolbox of available geometallurgical tests, equipment, protocols, models *etc.* was developed and made readily accessible.

## REFERENCES

**Alruiz, O M**, Morrell, S, Suazo, C J and Naranjo, A, (2009). A novel approach to the geometallurgical modelling of the Collahuasi grinding circuit, *Minerals Engineering*, 22:1060-1067.

**Bye, A R**, (2011). Case studies demonstrating value from geometallurgical initiatives. Proceedings of the 1st AUSIMM International Geometallurgy Conference, Brisbane, 9 – 30.

**Butler, C**, Dale, R, Robinson, S, Turner, A, (2016). Geometallurgy – Bridging the gap between mine and mill: a case study of the DeGrussa geometallurgy program. Proceedings of the 3rd AUSIMM International Geometallurgy Conference, Perth, 77 – 88.

**Cropp, A**, Goodall, W, Bradshaw, D, Hunt, J, berry, R, (2014). Communicating and integrating geometallurgical data along the mining value chain. 27th International Mineral Processing Congress, Santiago.

**Jackson, J**, McFarlane, A J, Olson Hoal, K, (2011). Geometallurgy – Back to the future: Scoping and communicating geomet programs. Proceedings of the 1st AUSIMM International Geometallurgy Conference, Brisbane, 125 – 131.

**Johnson, N W**, Munro P D, (2008). Methods for Assigning Domains in the Primary Sulfide Zone of a Sulfide Orebody. Ninth International Congress for Applied Mineralogy, Brisbane, 597 – 603.

**Liebezeit, V**, Ehrig, K, Robertson, A, Grant, D, Smith, M, Bruyn, H, (2016). Embedding Geometallurgy into mine planning practices – Practical examples at Olympic Dam. Proceedings of the 3rd AUSIMM International Geometallurgy Conference, Perth, 135 -143.

**Macfarlane, A S**, Williams, T P, (2014). Optimizing value on a copper mine by adopting a geometallurgical solution. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 114, 929 – 936.

**McKay, N**, Vann, J, Ware, W, Morley, C, Hodkiewicz, P (2016). Strategic and tactical geometallurgy – a systematic process to add and sustain resource value. Proceedings of the 3rd AUSIMM International Geometallurgy Conference, Perth, 29 – 36.

**PwC**, (2016). Mine 2016 – Slower, lower, weaker... but not defeated. Review of global trends in the mining industry.

**Schodde, R C**, (2011). Recent trends in Mineral Exploration – are we finding enough? Presentation to the RMG 8th Annual Exploration & Mining Investment Conference, Stockholm, November 2011.

**S&P Global**, (2017). Worldwide mining exploration trends. A special report from S&P Global Market Intelligence for the PDAC international convention.

**SNL Metals & Mining Research**, (2017). CES – Minesite exploration hits record-high share of budgets. Newsflash 22 February 2017.

**Williams, S R**, (2017). Reflections on the benefits and tasks ahead for Geometallurgy – from Metallurgist to Junior Miner at Pasinex Resources. Key note address, Process Mineralogy 2017, Cape Town, March 2017

**Woodall, R**, (2007). Project evaluation: Getting the geology right, *The AusIMM Bulletin*, 5:67-72.

# Spatial Outlier Detection in Mineral Resource Estimation

A.Erhan Tercan

*Hacettepe University, Department of Mining Engineering, Ankara, Turkey*

**ABSTRACT** Mineral resource estimation is an important task for geoscientists and mining engineers. It requires detailed consideration of a number of critical issues. This paper addresses spatial outlier detection problem which is not sufficiently examined in mineral industry.

A number of spatial detection algorithms are reviewed and one novel method is suggested. The reviewed algorithms are based on estimating the given target point from a set of observation locations adjacent to it and computing residual between actual and estimated value. The suggested method uses pairwise relations between actual and nearby values. These algorithms are compared on a simulated values lognormally distributed. The results show the value of spatial detection algorithms in resource estimation.

## 1 INTRODUCTION

A Mineral Resource is an inventory of mineralization and natural material of intrinsic economic interest. The size, geometry, quantity, quality, geological characteristics, continuity and the prospect of economic extraction are key attributes of a mineral resource and resource estimation includes estimation of these attributes from geological, mining and other related data and information. Economic extraction is deliberately put into the list of attributes because a mineral resource is not only the inventory revealed by drill-holes and sampling but also economically extractable one under available economic and technical conditions, as rightfully stated in worldwide resource / reserve estimation reporting standards such as JORC (2012), CIM (2014), SME (2014), PERC (2013), CRIRSCO (2013). Mineral resource estimates are used by mining companies, financial institutions and investors.

Resource modeling process can roughly be divided into the four main stages: database construction, geological solid modeling, block modeling-grade estimation and

assessment of economic extraction-resource model (Figure 1). It is an iterative process that is initiated by data collection followed by geological interpretation, block and resource modeling.

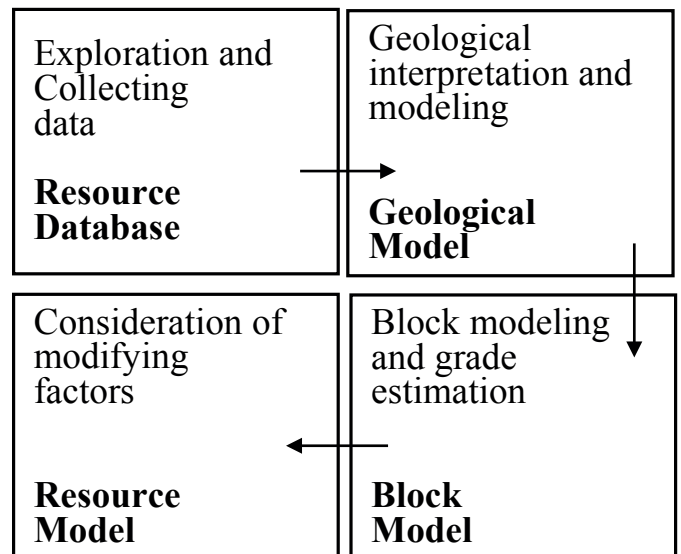


Figure 1. Stages of mineral resource modeling

Database construction is the key initial step of a mineral resource estimation and contains the collection and assessment of (1) primary data which consists of geological, geochemical, geophysical, topographic and assay data and (2) secondary data such as

geological projections, block models and cutoff grades derived from the interpretation of primary data. Before its use the database should be debugged and verified.

Geological models are representations of key features of mineralization in a three dimensional computer environment. These models are developed by interpreting lithology, structure, alteration, mineralization and other relevant data on cross sections and plan maps, then extending the interpretations to three-dimensional environments. Once the geological model is complete, estimation domains which are stationary zones in the deposit are defined, based on geological model with support of statistical and geostatistical analysis (Rossi and Deutsch, 2014; Stephenson and Vann, 2001).

Block modeling and estimation of grades proceeds within these domains. Prior to grade estimation it is usual practice to convert domain models into block models which comprise a series of orthogonal cuboid blocks (Glacken and Snowden, 2001). The mean grade of each block is then estimated in some manner by the neighboring data. The final stage of grade estimation includes classification of the resources.

A mineral resource is not everything in the ground but only that part of mineralization for which there are reasonable prospects for economic extraction (Rendu, 2007). Therefore the prospects for economic extraction should be identified for mineral resource by considering the technical and economic factors such as metal prices, recoveries, cut-off grades and the proposed mining and processing methods. During resource estimation these factors are assessed on the basis of generally accepted industry practice and experience.

Resource estimation requires to consider a number of critical issues, including domain, outliers, compositing, block size, search ellipse, estimation method, resource classification, cutoff grades and so on. In this paper, I address one specific area that I have chosen to call challenge. This challenge is spatial outliers. Outliers in general have strong effects on statistics such as the mean, variance, the variogram and also on block

estimates. Therefore they should be identified and treated in a proper manner in a mineral resource estimation study. Depending on the their size of the neighborhood, outliers can be divided into two main categories: global outliers and spatial outliers. Mineral resource industry currently seems to give more attention to the global outliers. However a few high grade values (spatial outliers) in zones of predominantly low grades can lead to overestimation of block grades and affect overall tonnage and grade.

The algorithms proposed for spatial outlier detection in the literature are mainly due to data mining community. The term spatial outlier is first introduced by Shekhar et al. (2001) when studying graph-based outliers. The methods for detecting spatial outliers are used in many application domains including transportation, ecology, public health and climatology.

Hawkins and Cressie (1984) propose robust kriging to solve problems in resource estimation caused by the presence of high outlier values in positive-skewed distribution and Costa (2003) applies it to an exhaustively sampled data set and a gold deposit. Grade capping, i.e., lowering the highest grades in a drill hole data set to some level, is a common practice in mineral resource estimation. Rivoirard et al. (2012) proposed the top-cut model based on decomposing the grade of interest into three components (the truncated grade, a weighted indicator above the top-cut grade, and a zero-mean residual) and jointly estimate the truncated grade and the indicator by cokriging. They demonstrated the application of this top-cut model to blast-hole data from a gold deposit and also to a synthetic example. Nowak et al. (2013) review the capping methods used in the mineral industry and demonstrate the utility of these tools in a gold data set. Leuangthong and Nowak (2015) review a number of methods used to mitigate the impact of high grade data in three stages of resource estimation: domain determination, grade capping and estimation - implementation. All these studies are related to detection and treatment of global outliers. However, research for spatial outlier detection is rare.



Babakhani (2014) studies outliers to mitigate their effects on on histogram, variogram and block estimates and propose a point spatial detection algorithm based on the uniform rank transformation of data and its cross validation estimation. In attempting to detect multivariate spatial outliers Harris et al. (2014) suggest local adaptations of various global detection methods and evaluate them using simulated and real data

Spatial outliers may be more interesting than global outliers because they are likely to be less known and therefore more surprising. The present study attempts to review point spatial outlier detection algorithms recently used and proposes a new detection measure called pairwise relative residual function. These algorithms are then compared in a simulated environment. The multivariate and regional spatial outliers and also treatment of outliers are not considered.

The outline of the paper is as follows: the first section of the paper deals with describing global and spatial outliers in mineral resource estimation. The second section defines the spatial outlier detection problem with its basic constituents: the neighborhood, the neighborhood function and the comparison function. The comparison functions yield spatial outlier detection algorithms. The third section compares these algorithms on a set of simulated data. The final section includes conclusions.

**2 GLOBAL AND SPATIAL OUTLIERS**

Outliers are observations in a data set, which appear to be inconsistent with the remainder of the set (Barnett and Lewis, 1994) or which deviate from other observations in the same grouping (Hawkins, 1980). These definitions require priorly to group the data together and to measure inconsistency or deviation, which always include some kind of subjectivity as emphasized by several authors such as Costa (2003) and Rossi and Deutsch (2014).

To detect outliers, observations should be compared with each other. Based on the size of the neighborhood used in comparisons, outliers can be studied into two main categories: outliers in a local neighborhood

(local or spatial outliers) and outliers in a global neighborhood (traditional or global outliers). A spatial outlier is an observation that is significantly different from those of other observations in its spatial neighborhood. It is usually viewed as a local anomaly whose attribute value is extreme to its neighbors. In contrast to global outliers, spatial outliers do not necessarily deviate from the remainder of the whole data set (Chen et al., 2008). In other words, spatial outlier is defined in its close spatial neighbor while global outlier is an unusual observation among all the values in a set of data. Therefore descriptive statistics such as mean, variance and variogram may be more affected by global outliers. In both cases they should be identified using raw data rather than composites because compositing smooths the raw data. Figure 2 shows global and spatial outliers for grade measured along a vertical drill-hole.

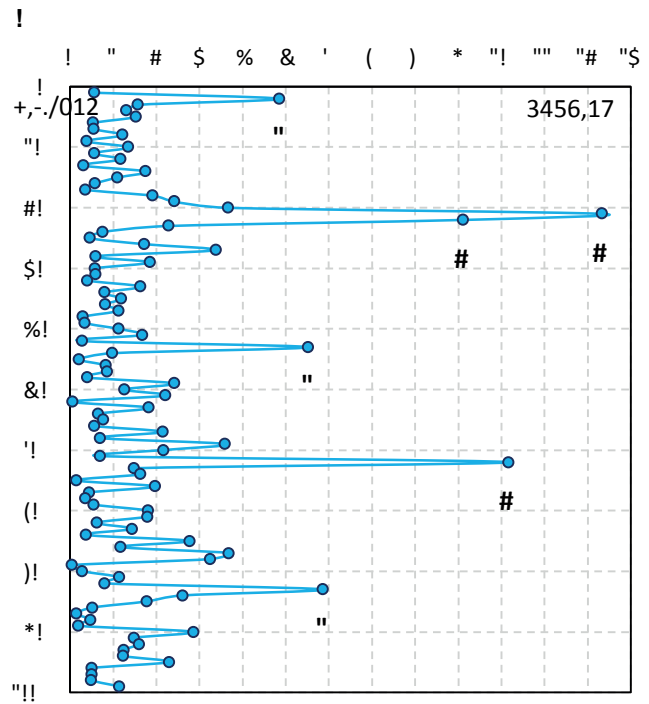


Figure 2. Global (G) and spatial (S) outliers for grade values measured along a vertical drill-hole

The simplest procedures used in identifying global outliers in resource estimation include mean ± two or three standard deviation and box-plots. More complex methods are probability plots, decile analysis, metal at risk, cutting curve plots, cutting statistics plots. Nowak et al. (2013) and Leuangthong and Nowak (2015) describe

these techniques and compare them in an application to a West African gold deposit.

### 3 PROBLEM OF SPATIAL OUTLIER DETECTION

Consider a stationary random function  $Z(x)$  defined over point locations  $x$  within some region  $D$  and let the values  $z(x_i)$  at locations  $x_i, i=1, \dots, K$  be a realization of the random function  $Z(x)$ . For a given point  $x_j$ , define  $N(x_j)$  the neighborhood of point  $x_j$ ,  $z^*(x_j)$  the neighborhood function summarising  $z(x_j)$  values for all the points but except  $x_j$  inside  $N(x_j)$  and finally  $c(x_j)$  the comparison function that compares  $z(x_j)$  with  $z^*(x_j)$ . Then mathematical definition of the spatial outlier detection problem is to obtain the value  $z(x_j)$  for which  $c(x_j)$  is an extreme value of the set  $[c(x_1), \dots, c(x_K)]$ . Note that definition depends on the choices of the neighborhood, the neighborhood function and the comparison function. Many choices are possible for each case.

#### 3.1 The neighborhood

The neighborhood of a given target location  $x_j$ ,  $N(x_j) = \{x_i, i=1, \dots, n; i \neq j \text{ and } n \ll K\}$ , is a set of observation locations adjacent to  $x_j$ . Its definition requires to determine search parameters such as the shape, the size and the number of samples. The neighborhood can be defined by search radius as traditionally applied in mineral resource estimation or the  $k$  nearest neighbours as considered in data mining applications. The latter, being the simplest choice, always guarantees the same number of samples for each  $x_j$  while the number of samples and size of the search neighborhood (radii of standard or rotated ellipse / ellipsoid) can vary from point to another, depending on the sampling density and the spatial continuity of grade. The size basically depends on the distance that a sample has effect on another and can be determined from range and nugget effect of grade variogram traditionally (see for example Cressie, 1993, p.134) or from both grade values and spatial coordinates of samples as suggested by Abedini et al. (2012) in which the search capability of a genetic

algorithm is exploited. Another option would be to use point madogram functions which can better characterize the range for a target point. It is first suggested by Tutmez (2005) in an attempt to integrate fuzzy sets into resource estimation. By point madogram functions the size of the neighborhood for each  $x_j$  can differ from one location to another so that local variability can be handled in a more effective way but it takes too much time and effort.

#### 3.2 The neighborhood functions

This is a function that estimates the attribute value at a target location  $x_j$  from measured values  $[z(x_i), i=1, \dots, n; j \neq i]$  at locations in the neighborhood of the target location. The neighborhood function can take any form ranging from the simple arithmetic mean to more complex functions of nearby data. Some of the functions used in practice are listed in the following:

##### 3.2.1 Mean

It is the simple arithmetic mean of the attribute values  $[z(x_i), i=1, \dots, n; j \neq i]$ . Every data point gets the same weight ( $1/n$ ):

$$z_m^*(x_j) = \frac{1}{n} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n z(x_i), (x_i, i = 1, \dots, n) \in N(x_j)$$

##### 3.2.2 Ordinary kriging

The neighborhood function is defined as follows:

$$z_{kr}^*(x_j) = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n \lambda_i z(x_i)$$

The unknown weights  $\lambda_i$  are obtained the solution of the following kriging system:

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma(d_{ij}) + \mu = \gamma(d_{ji}), i = 1, \dots, n; i \neq j$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

where  $\gamma(d_{ij})$  is the variogram value corresponding to distance  $d_{ij}$  between locations  $x_i$  and  $x_j$  and  $\mu$  is Lagrange multiplier.

### 3.2.3 Weighted median

It is based on employing a weighted median of  $\lambda_i$  found in ordinary kriging and the nearby attribute values  $z(x_i)$ :

$$z_{wm}^*(x_j) = \text{weighted median} [z(x_i), \lambda_i; i \neq j]$$

### 3.3 Comparison functions

Spatial outlier detection algorithms considered in this study work on a simple principle: compare the attribute value  $z(x_j)$  at each target location  $x_j$  against a neighborhood function  $z^*(x_j)$  that summarizes the neighborhood attribute values  $[z(x_i), i = 1, \dots, n, i \neq j]$  (Su, 2011). Examples of comparison functions include residual [difference between  $z(x_j)$  and  $z^*(x_j)$ ] or ratio of  $z(x_j)$  to  $z^*(x_j)$ . In practical applications the normalized residuals (division of raw residuals by standard error) are mostly used and the objective of spatial outlier algorithms is to produce the normalized residuals and to consider observations with the highest residuals as spatial outliers. This procedure is similar to cross validation exercise in which the parameters for a variogram model are fine-tuning. The normalized residuals can be calculated in many ways. Some of them are given below:

#### 3.3.1 Mean (ME) residuals

$$c_{ME}(x_j) = \frac{|e_m(x_j) - m_e|}{sd_e}, j = 1, \dots, K \text{ where}$$

$$e_m(x_j) = z(x_j) - z_m^*(x_j), m_e = \left(\frac{1}{K}\right) \sum_{i=1}^K e_m(x_i)$$

$$\text{and } sd_e(x_j) = \sqrt{1/K \sum_{i=1}^K (e_m(x_i) - m_e)^2}$$

This function is first suggested by Shekhar et al. (2003) to produce the residuals and is named spatial statistics  $z$  erroneously.

#### 3.3.2 Local (LO) residuals (Kleinjan et al., 2002)

$$c_{LO}(x_j) = \frac{|e_m(x_j)|}{sd_z(x_j)}, j = 1, \dots, K \text{ where } e_m(x_j) =$$

$$z(x_j) - z_m^*(x_j) \text{ with } z_m^*(x_j) = 1/K \sum_{i=1, i \neq j}^n z(x_i)$$

$$\text{and } sd_z(x_j) = \sqrt{1/K \sum_{i=1, i \neq j}^n (z(x_i) - z_m^*(x_i))^2}.$$

Raw residuals are not normalized over all

neighborhoods but for each neighborhood locally.

#### 3.3.3 Regression (RE) residuals (Shekhar et al., 2003)

$$c_{RE}(x_j) = \frac{|e_r(x_j) - m_r|}{sd_r}, j = 1, \dots, K$$

where  $e_r(x_j) = z_m^*(x_j) - (a \times z(x_j) + b)$ . Coefficients  $a$  and  $b$  are obtained from regressing  $z(x_j)$  over  $z_m^*(x_j)$ .  $m_r$  and  $sd_r$  are the mean and standard deviation of  $e_r(x_j)$  respectively.

#### 3.3.4 Ordinary kriging (OK) residuals

$$c_{OK}(x_j) = \frac{|e_{kr}(x_j) - m_{kr}|}{sd_{kr}}, j = 1, \dots, K \text{ where}$$

$$e_{kr}(x_j) = z(x_j) - z_{kr}^*(x_j), m_{kr} =$$

$$\left(\frac{1}{K}\right) \sum_{i=1}^K e_{kr}(x_i) \text{ and } sd_{kr}(x_j) =$$

$$\sqrt{1/K \sum_{i=1}^K (e_{kr}(x_i) - m_{kr})^2}.$$

#### 3.3.5 Weighted median (WM) residuals (Cressie, 1993)

$$c_{wm}(x_j) = \frac{|e_{wm}(x_j)|}{w\sigma_{kr}}, j = 1, \dots, K$$

where  $e_{wm}(x_j) = z(x_j) - z_{wm}^*(x_j)$ ,  $\sigma_{kr} =$  ordinary kriging standard deviation and  $w$  is a constant that controls the amount of downweighting the outlier values. Cressie (1993) suggests  $w$  values in the 1.5-2.5 interval.

#### 3.3.6 Pairwise relative (PW) residuals

The variance in a set of positively skewed data is a function of the spatial location such that the data show greater variability in high valued areas. Therefore it is necessary to consider detection measures taking into account the local stability around a data point and downweighting outliers in highly unstable areas. The following measure is proposed for this purpose and is closely related to the pairwise relative variograms used in Geostatistics.

$$c_{pw}(x_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{2 \left( z(x_j) - z(x_i) \right)}{z(x_j) + z(x_i)} \Big]^2, j = 1, \dots, K$$

## 4 A SIMULATED EXPERIMENT

To evaluate the spatial outlier detection algorithms under study, a simulation experiment is designed. The experiment consists of (1) generating a spatially dependent and skewed data distribution, (2) contaminating the distribution by local outliers, (3) detecting the spatial outliers and (4) assessing performance of the algorithms.

100 data values are unconditionally simulated on a regular grid of  $1 \times 1$  unit by using sequential Gaussian simulation method and these simulated values are then transformed into a lognormal distribution by simply taking their exponents. Lognormal distribution is chosen because it resembles the skewed data distributions frequently encountered in mineral resource estimation.

Since the simulated values are spatially dependent by design, they are free of spatial outliers and a certain percentage of them (for example 5%) should be contaminated. Global outliers are still possible however and values outside three standard deviation from the mean are identified as global outlier values. This procedure produced two global outliers (Figure 3b).

Contamination of a data set can be achieved in many ways: one method is to swap data at locations with high simulated values with data at locations with low simulated values (Harris et al. 2014). Another one includes generating a certain number of error terms (5% of the population) and adding these values to randomly selected locations of the simulated field (Cressie, 1993 and Su, 2011). I chose the former one and a higher (95-98%) and lower (5-2%) intervals of the simulated values are used to determine the swapping locations. This ensured that data at the global outlier locations are not swapped and in this way 6 of 100 simulated values are contaminated. Figure 3 shows the bubble plots of the simulated values before and after contamination together with the histogram and the omnidirectional variogram of the pre-contaminated simulation values.

The size of the search neighborhood is specified by the variogram range (2 units) of the original simulated values to avoid the error incurred in estimating and modelling the variogram of the contaminated data. This

choice leads to a varying number of samples in the neighborhood with minimum 5 and maximum 12.

The use of fixed n neighborhood and also varying neighborhoods derived from point madogram functions for each target point could be investigated more deeply. The algorithms are applied to the set of contaminated simulation values. The resulting residuals are put into decreasing number of order and the first 8 residuals are retained as outliers. A well performed algorithm captures the first two as global outliers and the remaining six residuals as spatial outliers. Table 1 shows the results. The first and second numbers in each cell present X and Y coordinates of the location. The underlined and bold numbers show the locations detected correctly by the algorithm. The last column presents the highest 9th residual. It is added to see some of the global or spatial outlier locations missed by the algorithms.

Table 1. Comparison of the results<sup>+</sup>

	GO <sup>1</sup>		HSO <sup>2</sup>			LSO <sup>3</sup>			9 <sup>th</sup>
True	8,7*	8,8	3,4	3,8	9,3	1,1	7,6	7,2	NA
ME	<b><u>8,7</u></b>	<b><u>8,8</u></b>	<b><u>3,4</u></b>	<b><u>3,8</u></b>	<b><u>9,3</u></b>	2,1	3,10	8,1	1,1
LO	3,4	9,3	<b><u>3,8</u></b>	8,1	2,1	1,6	1,9	8,7	8,8
RE	<b><u>8,7</u></b>	<b><u>8,8</u></b>	<b><u>3,4</u></b>	<b><u>3,8</u></b>	<b><u>9,3</u></b>	9,4	10,4	<b><u>1,1</u></b>	7,6
OK	<b><u>8,7</u></b>	<b><u>8,8</u></b>	<b><u>3,4</u></b>	<b><u>3,8</u></b>	<b><u>9,3</u></b>	2,1	3,10	<b><u>1,1</u></b>	7,7
WM	<b><u>8,7</u></b>	<b><u>8,8</u></b>	<b><u>3,4</u></b>	<b><u>3,8</u></b>	<b><u>9,3</u></b>	2,1	9,8	3,10	8,1
PW	<b><u>1,1</u></b>	<b><u>3,4</u></b>	<b><u>7,6</u></b>	<b><u>3,8</u></b>	<b><u>9,3</u></b>	<b><u>7,2</u></b>	9,4	8,7	8,8

<sup>+</sup>The underlined and bold numbers show the locations detected correctly by the algorithm,

<sup>\*</sup>The first and second numbers are X and Y coordinates of the location,

<sup>1)</sup>GO: Global outlier,

<sup>2)</sup>HSO: High spatial outlier,

<sup>3)</sup>LSO: Low spatial outlier,

<sup>\*\*)</sup>The highest 9<sup>th</sup> residual

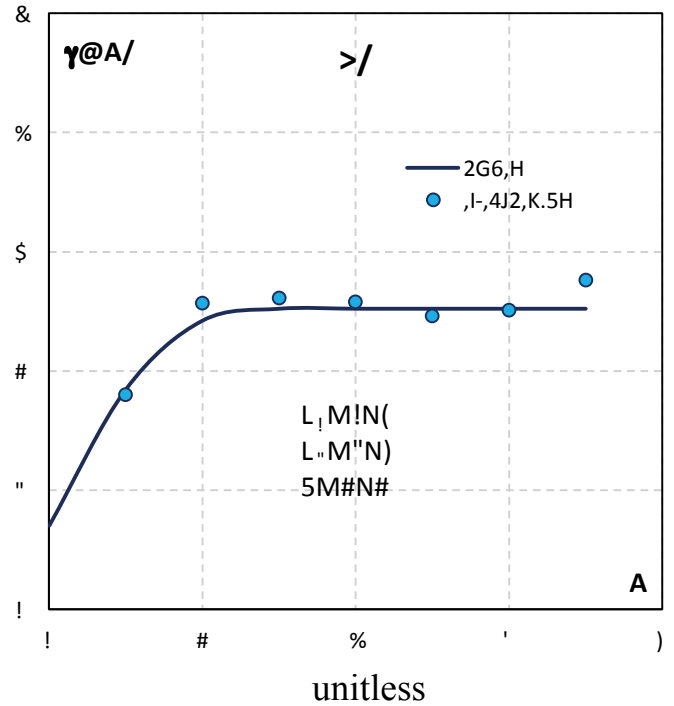
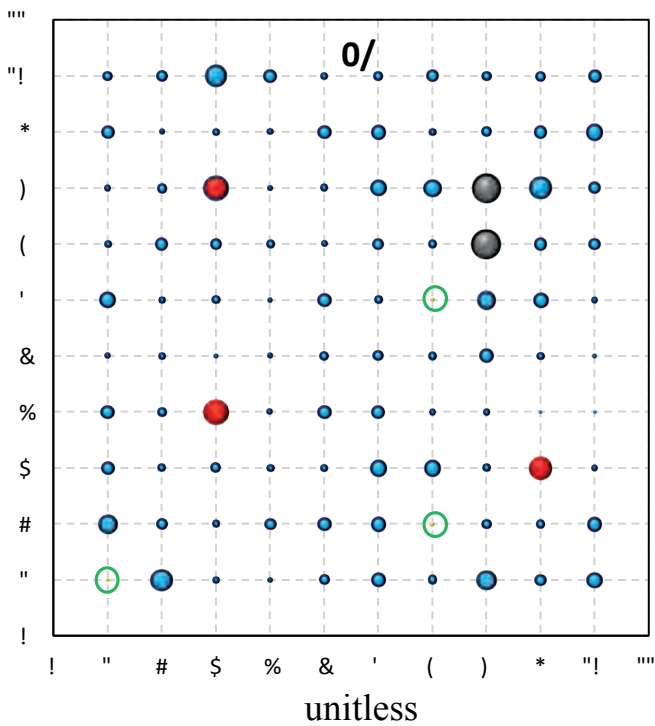
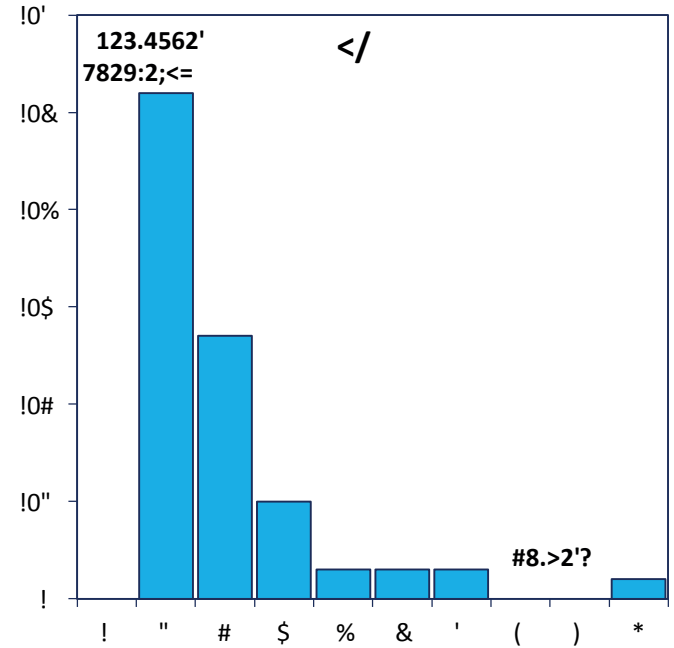
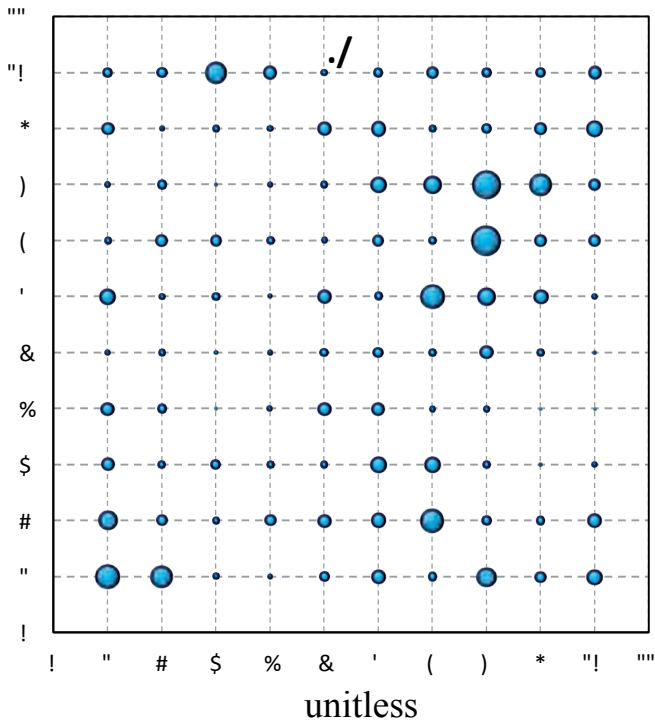


Figure 3. The bubble plots of the simulated values a) before and b) after contamination together with c) the histogram and d) variogram of the non-contaminated simulation values. In b), black balls show global outliers, red balls high spatial outliers, blue balls non-outliers and green circles low spatial outliers.

PW seems to be the best performing detection measure although global outliers are captured as LSO. All the algorithms except LO detect global and high spatial outliers correctly while these algorithms except OK and R fail to identify low spatial outliers. OK and RE detect correctly only one location as low spatial outlier. A poor performance of LO is due to reporting of outliers in highly unstable areas. Note that in the presence of a positively skewed data distribution high spatial outliers are more critical than low spatial outliers although few low grade samples in a zone of predominantly high values lead to underestimation of block grade.

## CONCLUSIONS

In mineral resource estimation spatial outliers may be more critical than global outliers because they are likely to be less known and therefore more surprising. In this study I have considered five spatial detection algorithms and proposed the novel one. The algorithms under consideration are very simple to understand and can easily be implemented to resource estimation studies. The algorithms except PW use the normalized residuals derived from some function of the neighboring data.

A performance comparison of the algorithms on a simulated data set lognormally distributed shows that the shape of the data distribution is an important factor in choosing right algorithm. PW detects spatial outliers well since it suppresses the effect of outliers in unstable areas of high variance while LO performs worse for not doing so. Most of the algorithms capture high outlier values while they fail to detect low outlier values. To see whether OK would capture low spatial outliers it would be interesting to use interpolation variance instead of kriging variance. Modelling the behaviour of outliers in different spatial scales especially in short and long range remains as a future work.

## REFERENCES

Abedini, M.J., Nasserli, M., Burn, D.H., 2012, The use of a genetic algorithm-based search strategy in

- geostatistics: application to a set of anisotropic piezometric head data, *Computers & Geosciences*, 41, 136-146.
- Babakhani, M., 2014, Geostatistical modeling in presence of extreme values, *M.Sc. Thesis*, University of Alberta, 85 pp.
- Barnett, V., and Lewis, T., 1994, *Outliers in statistical data*, Wiley, New York.
- Chen, D., Lu, C-T., Kou, Y., Chen, F., 2008, On detecting spatial outliers, *GeoInformatica*, 12, 455-475.
- CIM, 2014, Canadian definition standards on mineral resources and reserves (CIM definition standards).
- Costa, J.F., 2003, Reducing the impact of outliers in ore reserves estimation, *Mathematical Geology*, 33, 3, 323-345.
- Cressie, N., 1993, *Statistics for spatial data*, Revised edition, Wiley, New York, 900 pp.
- CRIRSCO, 2013, International reporting template for the public reporting of exploration results, mineral resources and mineral reserves, 41 pp.
- Glacken, I.M. and Snowden, D.V., 2001, Mineral resource estimation, in *Mineral resource and ore reserve estimation- The AusIMM guide to good practice* (Ed: Edwards, A.C.), 189-198, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne.
- Harris, P., Brunson, C., Charlton, M., Juggins, S., Clarke, A., 2014, Multivariate spatial outlier detection using robust geographically weighted methods, *Mathematical Geosciences*, 46, 1-31.
- Hawkins, D., 1980, *Identification of outliers*, Chapman and Hall.
- Hawkins, D.M., and Cressie, N., 1984, Robust kriging-a proposal, *Mathematical Geology*, 16, 1, 3-18.
- JORC, 2012. Australasian code for reporting of exploration results, mineral resources and ore reserves (The JORC Code).
- Kleinjan, J., Chang, J., Wilson., Humburg, D., Carlson, G., Clay, D., and Long, D., 2002, *Cleaning yield data*, SDSU publication.
- Nowak, M., Leuangthong, O., and Srivastava, R.M., 2013, Suggestions for good capping practices from historical literature, *Proceedings of the 23rd World Mining Congress 2013*, Montreal, Canada, 11-15 august 2013. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 10 pp.
- Leuangthong, O., and Nowak, M., 2015, Dealing with high-grade data in resource estimation, *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 115, 27-36.
- PERC, 2013, Pan-European standard for reporting of exploration results, mineral resources and reserves (The PERC reporting standard).
- Rendu, J-M., 2007, Orebody modelling, mine planning, reserve evaluation and the regulatory environment, Mineral resource estimation, in *Orebody Modelling and Strategic Mine Planning-*

- Uncertainty and risk management Models (2nd Edition)* (Ed: Dimitrakopoulos, R.), 219-226, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne.
- Rivoirard, J., Demange, C., Freulon, X., Lecureuil, A., and Bellot, N., 2012, A top-cut model for deposits with heavy-tailed grade distribution, *Mathematical Geosciences*, 45, 8, 967-982.
- Rossi, M.E., and Deutsch, C.V., 2014, *Mineral Resource Estimation*, Springer, Dordrecht, 332 pp.
- Shekhar, S., Lu, C-T., Zhang, P., 2001, Detecting graph-based spatial outlier: algorithms and applications (a summary of results), *Proc. Of the Seventh ACM-SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*.
- Shekhar, S., Lu, C-T., and Zhang, P., 2003, A unified approach to detecting spatial outliers, *GeoInformatica*, 7, 2, 139-166.
- SME, 2014, The SME guide for reporting exploration results, mineral resources, and mineral reserves (The 2014 SME guide), 65 pp.
- Stephenson, R.P., and Vann, J., 2001, Common sense and good communication in mineral resource and ore reserve estimation, *Mineral resource and ore reserve estimation- The AusIMM guide to good practice* (Ed: Edwards, A.C.), 13-20, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne.
- Su, P.C., 2011, Statistical geocomputing: spatial outlier detection in precision agriculture, *M.Sc. Thesis*, The University of Waterloo, 141 pp.
- Tutmez, B., 2005, Bulanık küme yaklaşımı ile rezerv kestirimi (in Turkish), *Ph.D. Thesis*, Hacettepe University.

# Maden ve Tünel Mühendisliğin Ortak Yanları ve Bazı Öneriler

## *The Common Aspects of Mining and Tunnel Engineering and Some Recommendations*

N. Bilgin

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

**ÖZET** Bu bildiriye ilk olarak Türkiye’de tünelciliğin mevcut durumu ele alınacak ve Tünelcilik Derneğinin yapısı, amacı ve faaliyetleri hakkında bilgi verilecektir. İkinci olarak maden ve tünel mühendisliğinin ortak yönleri tartışılacak ve uygulamadan bazı örnekler verilecektir. Nihayetinde maden mühendislerinin tünel projelerinde daha fazla görev alabilmeleri için bazı öneriler getirilecek ve yasal düzenlemeler tartışılacaktır.

**ABSTRACT** In this paper first the current state of Turkish Tunnelling Sector will be given and the the structure, the main objectives of Turkish Tunneling Society, the past and current activities will be summarized. Secondly the common aspects of mining and tunnel engineering will be discussed and some examples from the practice will be given. Finally some recommendations wil be given in order to increase the participations of the the mining engineers in the tunnelling projects.

### **1 TÜRKİYEDE TÜNELCİLİĞİN MEVCUT DURUMU**

Uzun yıllardır savunulduğu gibi tünelcilik; kazısı, havalandırması, pasa nakli, su atımı ve diğer faaliyet alanları ile birlikte madencilik faaliyetlerinin içerisinde yer almaktadır ve her geçen gün maden mühendislerinin tünelcilik projelerinde daha fazla çalıştığını görülmektedir, Bilgin, Çopur, Öğrencilik yıllarımızda Türkiye’de ne kadar maden olduğunu tartışırken, bugün artık gelişen madencilik faaliyetlerini sadece biz değil yabancılar da hayretle izlemektedir. Tünelcilik faaliyetleri de aynı şekilde hızla gelişip büyümektedir. 2019 yılına kadar sadece İstanbul’da açılacak Metro Tüneli uzunluğunun 400 km’yi aşacağı tahmin ediliyor. Bununla birlikte şu an gerçekleştirilmekte olan ve planlanan hidroelektrik projelerinin sayısı yaklaşık

1700 dür ve bunların en az yarısında tünel bulunmaktadır, tüm bunlara otoyol tünelleri, altyapı tünelleri ve demiryolu tünelleri de ilave edildiğinde önümüzdeki dönemde Türkiye’de tünelcilik faaliyetlerine ayrılacak bütçenin 35 Milyar Avro olacağı tahmin edilmektedir. Verilen rakam Avrupa’da bu iş için harcanacak paranın nerdeyse üçte biridir. Bu durum maden mühendislerinin tünel projelerinde çalışma şanslarını arttırmaktadır. Madencilik ve tünelcilik faaliyetlerinin bu kadar iç içe olması ve her iki sektörün de çok hızlı gelişmesi tünelcilik derneğinin kurulmasını zorunlu kılmıştır.

#### **1.1 Tünelcilik derneğinin kurulması, yapısı ve faaliyetleri**

Ağustos 2013 de kurulan Tünelcilik Derneği hızla gelişti, şu an derneğin 52 si kurumsal üye olmak üzere ve sayısı 800 ü geçen bir üyesi vardır. Derneğin 11 kişilik yönetim



kurulu üyelerinin 7 si Maden Mühendisi, 3 ü İnşaat Mühendisi, biri de Jeoloji Mühendisidir. Dernek üyelerinin %31 i Jeoloji Mühendisi, %28 i Maden Mühendisi, %20 si İnşaat Mühendisi, %3 i Makina Mühendisi, %3 ü Jeofizik Mühendisi, %2 si Harita Mühendisi, % 1 i Elektrik,% 1 i Bilgisayar Mühendisi, diğerleri % 20 dir. Bu yapı tünelcilik faaliyetlerinin disiplinler arası bir uğraşı alanı olduğunu açıkça göstermektedir.

Bu zamana kadar iki adet Uluslararası Konferans, dört adet Tünelcilik Kısa Kursu ve üç adet Uluslararası Fuar (Tunnel Expo) gerçekleştirilmiştir. Dernek her iki ayda bir de tünel adlı bir dergi çıkarmaktadır. Bu faaliyetlerin ana amacı, ilgili alanlarda tüm uygulamacıları bir araya getirmek tünelcilik konusunda temel bilgilerin verilmesinin ve son gelişen teknolojilerin tanıtılmasının sağlanmasıdır. Avrupa'da en fazla tünel açılan ülkelerden biri Norveç'tir ve Norveç Tünelcilik Derneği dünyadaki en eski tünelcilik derneklerinden biridir. Bu dernekle beraber İstanbul'da büyük ilgi gören bir çalıştay düzenlenmiştir. Dernek, her sene üyelerinin, ITA'nın (Uluslararası Tünelcilik Birliği) düzenlediği Uluslararası konferansa katılmalarını desteklemekte ve yapılan her yayın için bir ödül vermektedir.

## 2 MADENCİLİK EĞİTİMİNİN TÜNELCİLİKLE ÖRTÜŞEN ANA KONULARI

Madencilik eğitiminin tünelcilikle örtüşen ana konuları ilerdeki çalışmalara ışık tutmak amacı ile aşağıda verilmiştir.

Sondaj çalışmaları: Hemen hemen tüm maden mühendisliği programlarında var. Jeoloji: Her programda okutuluyor.

Kaya mekaniği: Her programda vardır.

Zemin mekaniği: Nadiren bazı programlarda yeterli seviyede okutuluyor.

Geoteknik çalışmalar ve yorumları: Nadiren bazı programlarda var.

Geoteknik ölçümler: Nadiren okutuluyor.

Çevre etkileşim: Tüm programlarda var.

Yeryüzü oturmaları: Her programda var.

Risk analizi: Nadiren bazı programlarda okutuluyor.

Emniyet, işçi sağlığı ve iş güvenliği: her programda var.

Tünel açma yöntemleri: Hemen hemen her lisans programında var.

Tünel tasarımı, nümerik modelleme: Bazı yüksek lisans programlarında var.

Tünellerin sismik tasarımı: Okutulmuyor.

Delme patlatma: Her programda var.

Havalandırma: Her programda var.

Vagon ve bantla pasa nakli: Her programda var.

Su atımı: Her programda var.

Beton teknolojisi ve uygulamaları, beton kimyasalları: Nadiren bazı yüksek lisans programlarında var.

Zemin iyileştirmesi: Sadece bazı yüksek lisans programlarında var.

Tahkimat tasarımı: Birçok programda yeteri derecede okutuluyor.

Aydınlatma: Yeteri kadar okutulmuyor.

Tünel projeleri sevk ve idare, şantiye tasarımı ve yönetimi: Okutulmuyor.

Yukarıdaki irdelemeden de görüldüğü gibi tünelciliğin bazı ana konularının madencilik eğitiminde eksik kaldığı görülmektedir.

### 2.1 Çok Disiplinli Yüksek Lisans Tünelcilik Programları

Bu alt bölümde tünelcilik konusunda yüksek lisans ve yüksek lisansüstü seviyesinde Dünya'daki gelişmeler nasıl oluyor, ondan bahsedilecektir. Bu programlara tercihen tecrübeli maden, inşaat, jeoloji, jeofizik, inşaat ve makine mühendisleri kabul edilmektedir. Bu konuda ilk adımlar 18 sene evvel, bir Maden Mühendisi olan Prof. Dr. S. Pelizza başkanlığında İtalya'da Torino Politeknik de COREP çatısı altında atılmıştır. Şu anda program ITA'da (Uluslararası Tünelcilik Birliği) başkan yardımcısı Prof.Dr. D. Peila tarafından yürütülmektedir. Kurs ücret, 5000 Avrodur. Eğitim bir yıl teorik konular bir yıl da tez hazırlama şeklinde devam emektedir. Kursu daha önce yüksek lisans derecesine sahip kişiler katılmaktadır. Bu programda, değişik konular Dünya'nın değişik yerlerinden gelen hocalar tarafından anlatılmakta ve tartışılmaktadır. Kurs dili İngilizcedir. On yıldır devamlı ders verdiğim bu kursta

mezun olanların hemen iş bulduklarına ve yüksek mevkilere geldiklerine şahit oldum. Bunlardan birisi İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Mezunu bir öğrencimizdir ve bir İtalyan Firması olan Geodata'da Dudullu-Bostancı ve Göztepe-Ataşehir-Ümraniye Metro hattı projelendirmesinde Proje Müdür Yardımcısı olarak çalışmıştır, halen bütçesi bir Milyar Avro civarında olan. Tünelcilik konusunda eğitim veren diğer önemli eğitim kurumu Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL)'dir. Burada kurslar 2007-2013 yılları arasında Prof.Dr. J. Zhao başkanlığında yürütülmüştür. Kurs 4 modül halindedir ve modüllere fasılalarla devam etme imkanı vardır. Kurs ücreti tüm modüller için 18.000 CHF dir, unutulmaması gereken bir husus da her 4 ay için İsviçre'de yaşam için ayrıca bir 10.000 CHF ayrılması gereğidir. Tünelcilik master kursları Fransa'da Fransız Tünelcilik Derneği (AFTES) ve Institut National des Sciences Appliquées de Lyon INSA & Ecole Nationale des Travaux Publics de l'état - ENTPE, Lyon tarafından yürütülmektedir. Eğitim 5'er ay fasılalarla verilmektedir ve toplam ücret 15.000 Avrodur. Diğer bir kurs İspanya'da İspanyol Tünelcilik Derneği (AESTOS) tarafından 10 modül altında yürütülmektedir, toplam ücret 9000 Avro'dur.

### 3 BAZI TÜNELCİLİK ÖRNEKLERİNE MADENCİLİK GÖZÜYLE BAKIŞ

#### a) Pasa nakline tipik bir örnek.

Aşağıdaki örnek, şu an halen yapımı süren Mahmutbey-Mecidiyeköy metro yapımında Yenimahalle-Yüzyıl İstasyonları arasında kullanılan 4460 m uzunluğundaki bantın seçimi ve hesaplamaları ile ilgilidir. Bu örneğin ana amacı, maden mühendislerine verilen "madenlerde ulaşım ve su atımı" dersi kapsamında, halen inşaat ve makine mühendislerinin uğraşı kapsamları içerisinde değerlendirilen bir konunun maden mühendislerince de yapılabileceğidir.

Proje verileri:

Yenimahalle – Karadeniz Mahallesi İstasyonları arasındaki uzunluk 1510 m, eğim +% 1,5, kurba sağa 800 m, sola 350 m. Karadeniz Mahallesi-Tekstilkent İstasyonları arasındaki uzunluk 1600 m, eğim +2,5, kurba sağa 600 m, sola 414 Tekstilkent-Yüzyıl İstasyonları arasındaki uzunluk 550 m (eğim 0) +800 m (eğim - %4,5).

Kazı taşıma kapasitesi 85 t/h, kazı 6,5 m çapında bir TBM (tünel delme makinesi) ile yapılacaktır. Günde en fazla 20 m ilerleme öngörülmüştür. Bu bir günde 930 m<sup>3</sup> veya 85 t/h yapmaktadır.

Ana kabuller:

Bant Genişliği (w), taşınacak parça boyutlarına göre abaklardan seçilir, burada 0,95 m alınmıştır (Aşık, 1992).

Bant Hızı (v), bant genişliğine göre abaklardan seçilir, burada 3 m/sn alınmıştır.

Bant tahrik gücünün hesabı:

Yeni Mahalle – Karadeniz Mahallesi arasında boş bantı taşımak için gerekli güç  $W_e$ ,  $W_e = m_i \cdot (1 + l_x) \cdot g \cdot \mu_e$  (1)

(1) nolu eşitlikte,  $m_i$  = bantın 1 metresinin uzunluğu (amprik olarak,  $m_i = 60w$ , w bant genişliği), l = bant uzunluğu,  $l_x$  = tambura sarılan ekstra uzunluktur.

$W_e = 60 \times 0.95 \text{ kg/m} \cdot (1510 + 25) \text{ m} \times 9.81 \text{ kg/cm}^2 \times 0.03 \times 3 \text{ m/sn}$

$W_e = 77179 \text{ W}$  veya 77,2 Kw bulunur.

Yeni mahalle – Karadeniz Mahallesi arasında malzemeyi taşımak için gerekli güç  $W_m$ ,  $W_m = T \cdot l \cdot g \cdot \mu_m$  (2)

(2) nolu eşitlikte T, Taşıma kapasitesi, 85000kg/3600sn, l = 1510+25m,  $\mu_m = 0.04$  malzeme ile bant arasındaki sürtünme katsayısıdır.

$W_m = 14222 \text{ W}$ , veya 14,2 Kw bulunur.

Yeni Mahalle – Karadeniz Mahallesi arasında eğimi yenmek için gerekli güç,  $W_r$ ,  $W_r = T \cdot g \cdot h$  (3)

$T = 85000 \text{ kg/3600 sn}$ ,  $h = 1510 \times 1.5 \text{ m}/100$

$W_r = 5165 \text{ W}$ , veya 5,2 kW bulunur.

Yeni Mahalle – Karadeniz Mahallesi İstasyonları arasında toplam güç  $(77,2 + 14,2 + 5,2)/0,9$  (motor verimi) veya 107 kW bulunur.

Diğer istasyonlar için de aynı hesap tekrarlandığında 4460 m lik bantın toplam tahrik gücü  $W_T = 289/0,9 = 320 \text{ KW}$  bulunur.

Bant gerilmesinin hesabı ve bant malzemesi seçimi.

Bantta kayma olmaması için;

$$(P1/P2) < e\mu\theta \text{ olmalıdır} \quad (4)$$

(4) nolu eşitlikte P1 üst banttaki gerilme, P2 alt banttaki gerilme,  $\mu$  bantla tambur arasındaki sürtünme,  $\theta$  tamburda radyan cinsinden bant sarılma açısıdır ve

$$e\mu\theta = n \text{ ise, } P1 = (n/n-1)(WT/V) \quad (5)$$

(5) nolu eşitlikten, P1= 123 kN bulunur. Bu da abaklar yardımıyla 5 kortlu bandı verir.

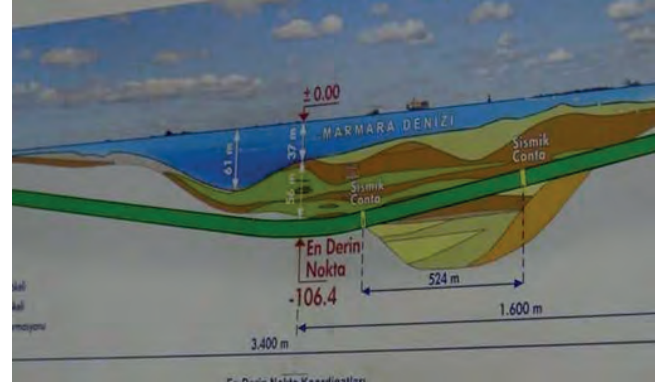
Ele edilen sonuçlar, uygulamadaki değerlerle örtüşmektedir. Bu uygulamanın ana amacı, bir bant hesabının nasıl yapıldığını göstermek değildir. Yukarıda ki uygulama öğrencilerimizin hazırladığı bir sene içi ödevinden alınmıştır. Onların Tünelcilik te de çalışmaya ne kadar hazırlıklı olduklarını gösteren tipik bir örnektir.

## b) Avrasya tüneli örneği

Projenin temeli Şubat 2011 tarihinde atılmış ve Aralık 2017 de tamamlanmıştır. Proje ITA (Uluslararası Tünelcilik Birliği) tarafından, 2015 yılında, büyük projeler grubunda Dünya'nın en başarılı projesi seçilmiştir Asya ve Avrupa yakalarını, deniz tabanının altından Kennedy Caddesi'nde Kumkapı ile D-100 Karayolu'nda Koşuyolu mevki arasında güzergahında bir karayolu tüneli ve bağlantı yolları ile birbirine bağlayan tünel. Toplam güzergah tünel ve bağlantı yolları ile 14,6 kilometredir. Kumkapı ile Koşuyolu arasında yoğun trafikte 100 dakikaya varan seyahat süresinin 15 dakikaya kadar indirilmesi hedeflenmiştir. Projenin Güzergahı Güzergahı ve jeolojik profili Şekil 1 ve Şekil 2 de verilmiştir

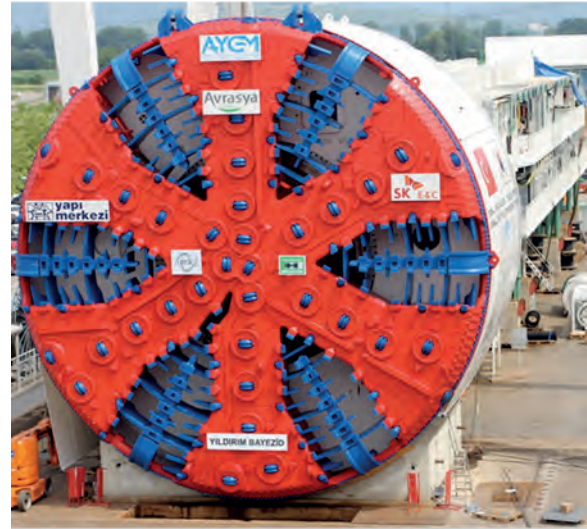


Şekil 2, Avrasya Tüneli güzergahı



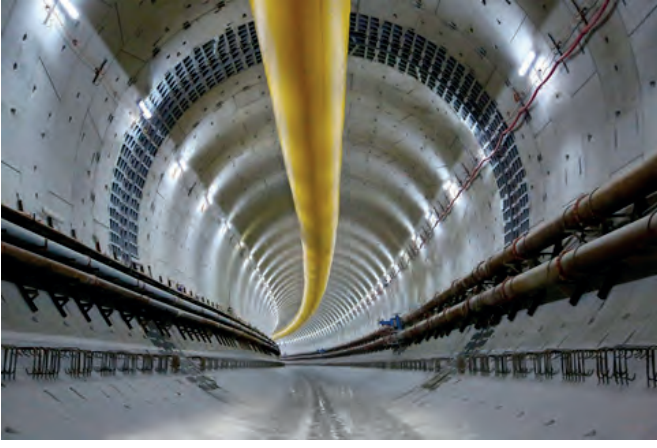
Şekil 2. Avrasya Tüneli jeolojik profili

Tünel Şekil 3 de verilen 13,7 m çapındaki bir slurry tip TBM (Tünel Açma Makinesi) ile açılmıştır. Makina 12 bar arın basıncına dayanacak şekilde imal edilmiştir (Arıoğlu, Gökçe, Arıoğlu, 2016). Günlük ortalama 7,5 m kazı hızına ulaşılmıştır. Bu tebliğ çerçevesin vurgulanması gereken en önemli hususlardan biri gerek ARGE çalışmaları gerekse de TBM kazısı sırasında Maden Mühendislerinin önemli katkıları olduğudur.



Şekil 3. Avrasya Tünelinin açıldığı TBM

Tünel %46 kum ve killi zemin, %54 Trakya Formasyonunda açılmıştır. Tünelin Kuzey Anadolu Fayının etkisinde kalacağı düşüncesiyle, özel tasarımı yapılmıştır. Tünel emniyeti için kullanılan sismik contalar Şekil 4 de gösterilmiştir, (Arıoğlu, Gökçe, Arıoğlu, 2016)



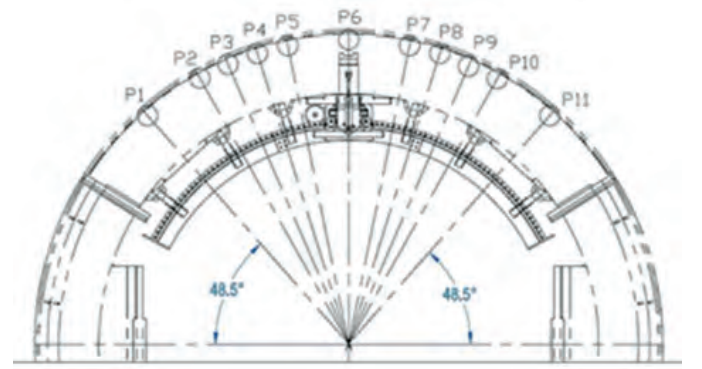
Şekil 4. Avrasya Tünelinde kullanılan sismik contalar

### c) Kargı Hes Tüneli ve Melen Su Tüneli

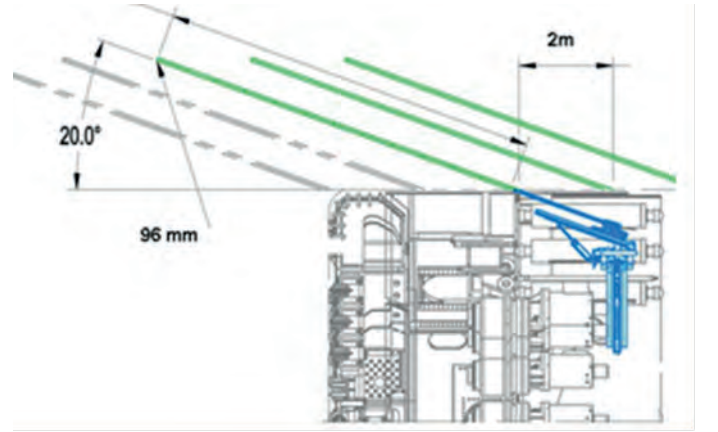
Kargı ve Melen Tüneli Maden Mühendislerinin ve yer bilimcilerin yoğun bir şekilde yer aldığı, ön delginin kullanılarak tünel aynalarının önündeki formasyonların ve değişimlerinin tahmin edildiği ve buna göre önlem alındığı çok önemli iki uygulamadır (Bilgin, Çopur, Balcı, 2016; Bilgin, Ateş, 2016).

Kargı Hes Tüneli, Osmancık ve Boyabat arasındaki Kızılırmak Nehri üzerinde kurulan bir hidroelektrik santrali için yapılmıştır ve 11,8 km uzunluğundadır. Tünelin 7.8 km si 9,8 m çapında bir çift kalkanlı TBM ile diğer 4 km kısmı ise del –patlat yöntemi ile açılmıştır. Tünelin doğu girişi, Doğu Anadolu fayından etkilenmiş, formasyonlar haylice kırılmış ve çatlamıştır. Bu nedenle TBM kazısı sırasında, kesici kafanın önünde göçükler meydana gelmiş ve TBM sıkışmıştır. Kurtarma amacı ile tünelin yanından 8 defa galeri açılmıştır. Sonuçta TBM in önündeki 11 delikten arına doğru 200 meyilli 30m uzunluğunda ön delgiler yapılmıştır, Şekil 5, 6, 7. Buradan ana amaç, aynanın önündeki değişimleri delme basıncına göre normalize edilmiş delme hızlarının, TBM in torkun ve itme kuvvetinin, jeolojik formasyonların özellikleri ile nasıl değiştiğinin görülmesidir. Bilgin, Çopur, Balcı, 2016; Bilgin, Ateş, 2016. Buna tipik bir örnek şekil 8 de verilmiştir. Gerekliğinde tünel aynasına polimer enjeksiyonu yapılmış, aynanın sağlamlaştırılması sağlanmıştır, Şekil 9. Bu uygulamadan sonra TBM in kesici kafasının

sıkışması durmuş ve günlük ortalama ilerleme hızı 5 misli artmıştır.



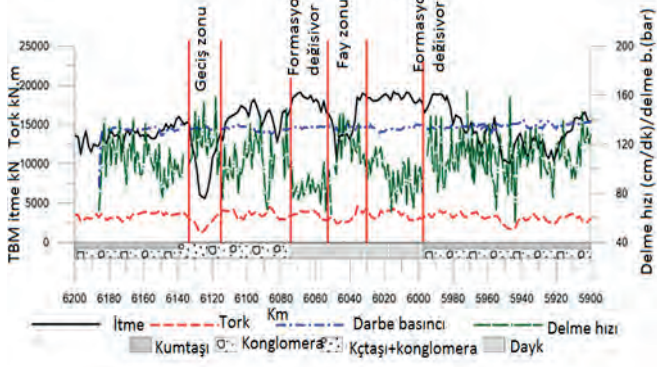
Şekil 5. TBM in önünde ön delgi yerleri



Şekil 6. TBM in önünden açılı ön delgi yapılması



Şekil 7. ön delgi ekipmanı



Şekil 8. Normalize ön delme delgi hızı, TBM tork ve itme kuvvetleri ile formasyonların özellikleri ile olan ilişkisi

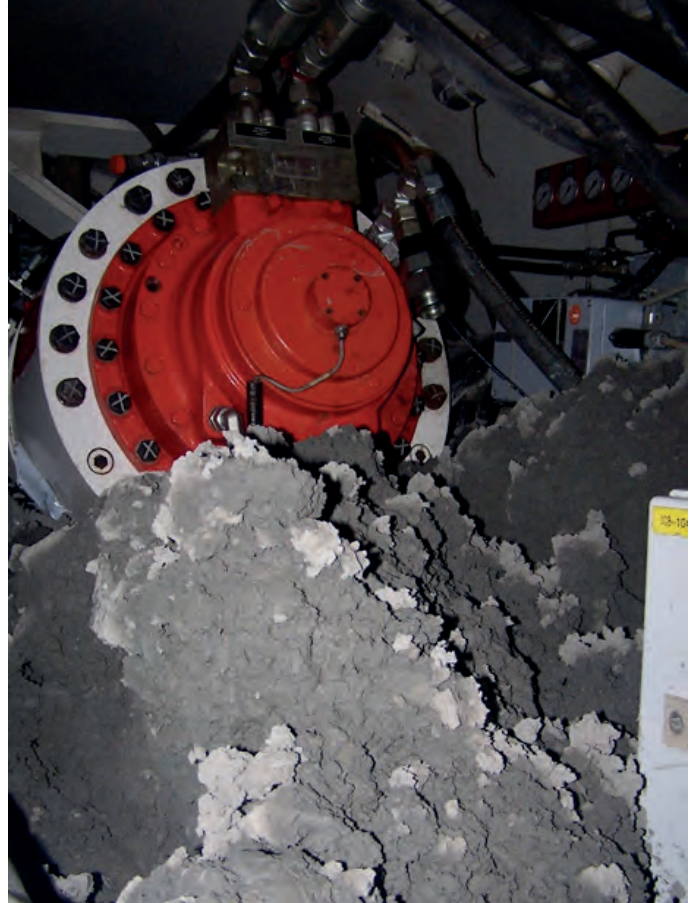


Şekil 9. Ön delgi deliklerinde enjekte edilen polimerin arını sağlamlaştırması

#### d) Metan patlamasına bir örnek, Selimpaşa Atıksu Tüneli

Metan gazı patlaması, maden mühendislerinin yakından çok iyi tanıdığı bir husustur. Selimpaşa atık su tüneli 10.537 m uzunluğundadır. Tünel dış çapı 2,7 m olan bir EPB TBM ile Haziran 2009 tarihinde Oligosen Yaşlı Danişment Formasyonunda açılmağa başlanmış ve Ocak 2012 tarihinde tamamlanmıştır. 20 Mayıs 2010 tarihinde 3+095 inci metrede TBM in basınç odasında bir metan gazı patlaması olmuş, helezoni oluktan dışarı doğru ilk bir pasa püskürmesi olmuş ve arkadan yayılan alev ciddi şekilde işçilerin yaralanmasına neden olmuştur, Bilgin, Copur, Balcı, 2106; Copur, Çınar, Ökten, Bilgin, 2012.

Patlama öncesi ve sonrası sorumlu maden Mühendislerinin olaya müdahalesi ile olay minimum zararlarla atlatılmış ve tünel bitilebilmiştir. Patlama sonrası helezoni oluktan dışarı fırlayan pasa Şekil 10 da, patlama sonrası tünel cidarından su ile beraber dışarı çıkan metan kabarcıkları ise Şekil 11. de görülmektedir.



Şekil 10. Patlama sonrası helezoni oluktan dışarı çıkan pasa



Şekil 11. Selimpaşa tünelinde suyla beraber metan kabarcıklarının dışarı çıkışı.

### e) Köseköy T26 hızlı tren tüneli

Tünel grafitik şist içerisinde 2010 tarihinde NATM yöntemi ile açılmağa başlandı, deformasyonların aşırı olması nedeni ile tünelin 13,7 m çapında tek şiltli bir TBM le açılmasına karar verildi, Kullanılan makine Şekil 12 de gösterilmiştir.



Şekil 12. T26 tünelinin açıldığı TBM

Burada konu dışı olan nedenlerden Mayıs 2012 de Şekil 13 de görüldüğü gibi segmentler kırılmaya başlamış tünel stabilitesi tamamen bozulmuş ve TBM göçük altında kalmış ve şu tünel terk edilmiş durumdadır. Maden mühendisleri ve yer bilimcilerinin de içinde bulunduğu bir teknik kadronun üstün gayretiyle, tavana kendinden delen bulonlar çakılmış, tünel çelik bağlarla dönülerek 40 cm kalınlığında püskürtme beton atılarak tünel emniyeti sağlanmış ve tünel ayakta tutulabilmiştir. Kırılan segmentler ve tüneli ayakta tutmak için uygulanan tahkimat şekli, Şekil 14 ve 15 de verilmiştir.



Şekil 14. Segmentlerin kırılması



Şekil 14. Tünelin stabilitesini sağlamak için uygulanan ek tahkimat şekli

### f) Gerede Su Tüneli

Amaç Gerede'den Ankara'ya 31,6 km uzunluğunda ve bitmiş çapı 4.4 m olan bir tünelle içme suyu taşımaktır. Kazıya üç adet çift şiltli TBM ile başlanmıştır. Gerede tarafından giren TBM 9588 m lik kısmı tamamlamış ve makine dışarı alınmıştır. Ankara istikametine doğru kazı yapan S-691 nolu TBM 14+696 ıncı km da sıkışmış ve ilerde basınçlı su ile karşılaşma riski olduğundan durdurulmuş ve TBM dışarı çıkarılmıştır. Ankara tarafından kazıya başlayan S-692 nolu TBM Haziran 2014 de

24+344.86 km de büyük bir baskı altında kalmış ve 15 dakikada 1250 m3 su ani olarak segmentler arasından tünele girmiş, göçüğe ve TBM in tamamen kullanılmaz hale gelmesine neden olmuştur. Şekil 15 de segmentler arasından tünele giren malzeme görülmektedir. TBM dışarı çıkarılmış ve aşırı baskı ve su gelirine dayanabilecek bir başka makinenin tasarımı yapılarak, kazının bu makine ile devamı sağlanmıştır.



## Şekil 16 TBM i ve segmentlerin tahribi 4 SONUÇLAR

Türkiye’de, metro, karayolları, demir yolları, hes ve altyapı tünellerine yatırım inanılmaz hızlarla devam etmektedir. Yukarıda verilen örneklerden de görüldüğü gibi maden mühendisleri ve yerbilimcilerin bu gelişmeler içerisinde kendilerini yenileyerek yer alması kaçınılmazdır. Bugün verilen eğitim kısmen yeterli görülse de, programların çağa ayak uyduracak şekilde yenilenmesinde büyük fayda vardır, özellikle inşaat ve maden mühendisliği alanlarındaki bağ iyi kurulmalıdır, Bilgin, Çopur, Balcı, 2014. Yukarıda ki metin içerisinde bu kısaca tartışılmıştır. Üniversitelerde, diğer bazı ülkelerde olduğu gibi, maden mühendisliği ve yer bilimleri disiplinlerinin önderliğinde diğer ilgili disiplinlerin de dahil edildiği mültidisipliner tünel ve yeraltı mühendisliği yüksek lisans programları açılmalıdır. Tünelcilikle ilgili ulusal ve uluslararası toplantı, kısa kurs, seminer, sempozyum ve konferanslara katılım sağlanmalı ve teşvik edilmelidir. Maden mühendislerini ve yerbilimcilerini tünel projelerinde çalıştırma zorunluluğunu kısıtlayan yasal durum ortadan kaldırılmalı, yeni yasal düzenlemeler getirilmelidir. Bu konuda Üniversiteler ve mesleki kuruluşlar daha aktif rol almalıdırlar.

## KAYNAKLAR

- Arnoğlu, B., Gökçe, B.H., Arnoğlu, E., 2016. A unique project under variable geological conditions, Euroasia Tunnel, *2th International Conference on Tunnel Boring Machines in difficult grounds*, Turkish Tunnelling Society, ISBN: 978-605-4318-09-4, p.1-14.
- Aşık, E., 1992. *Bantlı konveyörler, hesap ve konstrüksiyon esasları*, T.M.M.O.B Makina Mühendisleri Odası, Yayın No. 98, s.333. Soyadı, Adının ilk harfi, yıl. Bildirinin başlığı, *Kongre, Sempozyum vb. Kitabının adı* (varsa seri numarası), cilt, sayfa aralığı (ör. s.46-52), yeri.
- Bilgin, N., Copur, H., Balcı, C., 2014. *Mechanical excavation in mining and civil industries*. CRS Press, Taylor and Francis Group, p.365.
- Bilgin, N., Copur, H., Balcı, C., 2016. *TBM excavation in difficult ground conditions, case study from Turkey*. Wiley, Earnst and Sohn, p.336.

- Bilgin, N., Copur, H., Balcı, C., 2016. Some problems related to TBM excavation in complex geology, examples and solutions from from Turkey, from past to present, *2th International Conference on Tunnel Boring Machines in difficult grounds*, Turkish Tunnelling Society, ISBN: 978-605-4318-09-4, p.158-177.
- Bilgin, N., Ateş, U., 2016. *Probe drilling ahead of two TBMs in difficult ground conditions in Turkey*, Rock Mechanics and Rock Engineering, 49 (7), p.2763-2772.
- Copur, H., Çınar, M., Ökten, G., Bilgin, N., 2012. *A case study on the methane explosion in the excavation chamber of an EPB-TBM and lessons learned including some recent accidents*, Tunnelling and Underground Space Technology, 27, p.159-167.

# DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE KÖMÜR: DÜNDEN BUGÜNE; BUGÜNDEN GELECEĞE BAKIŞ

**Necdet PAMİR**

*Bilkent Üniversitesi, Enerji Politikaları Araştırma Merkezi*

## BAŞLANGIÇTAN GÜNÜMÜZE KÖMÜR

Kömür kullanımının tarihçesi, farklı kaynaklarda hayli farklı biçimde ele alınmaktadır. Kömürün bilinen ilk kullanımının, Çin'in Shen-yang bölgesine ve M. Ö. 4000 yıllarına uzandığı öne sürülür<sup>1</sup>. Örneğin kömürün **yüzey madenciliği** ile başlangıcını, Milattan Önce (M. Ö.) 3490 yılına götüren ve Bronz Çağı'nda Çin'de, kömürün evlerde kullanıldığını öne süren kaynaklar mevcuttur. **Kömürün metal işlemede kullanımı** ise Yunanlı bilim adamı Theophrastus'a (M. Ö. 371–287) göre, Liguria ve Elis'te kömür bulunması ile gerçekleştirilmiştir. Liguria ismi Roma öncesinden gelen çok eski bir isimdir. Bölgenin ilk halkı olan Ligurlar, Rhône bölgesinden gelerek, Akdeniz sahiline yerleşmişlerdir. Daha sonra Galliler'in gelmesiyle, bir Gal-Ligur kültürü oluşturmuşlardır. Bölge M.Ö. 2.yüzyılda Roma İmparatorluğu tarafından zapt edilmiştir (Liguria denen bölge bugün İtalya topraklarındadır).<sup>2</sup>



Liguria, İtalya

Çin'de M. Ö. 120 civarında; maden eritme ocaklarında kullanılan odun kömürünün temin edilebilmesi için ormanların büyük oranda yok edilmesi, ülke çapında bir çevre krizine dönüştü. Bu sorunun çözümü olarak da kömür üretimine ağırlık verilmesi kararlaştırıldı.

Çinliler, M. S. 1100 yılında, *kömürden kok elde etmeyi* başardılar ve metallere biçim verme yolunda büyük bir adım attılar. Bunun ardından da maden eritme ocaklarını, ormansızlaştırdıkları alanlardan kömür yataklarının yanına taşıdılar. Bu gelişme bir yandan orman katliamını durdururken, diğer yandan da özelde demir sanayisinin, genelde ise

<sup>1</sup> Seven Elements That Have Changed the World (Dünyayı Değiştiren 7 Element), John Browne, 2013; ISBN 978-0-2978-6805-7

<sup>2</sup> John Dodson; Xiaoqiang; Nan Sun; Pia Atahan; Xinying Zhou; Hanbin Liu; Keliang Zhao; Songmei Hu; Zemeng Yang (March 3, 2014). "Use of coal in the Bronze Age in China". The Holocene. 0959683614523155 (5): 525–53. (Wikipedia'dan aktarım).



sanayinin gelişimini sürdürmesini sağladı. On birinci yüzyılda, geleneksel yakıt olan odun arzında yaşanan daralmaya koşturarak; kömür kullanımını, hızlı bir artış gösterdi. Söz konusu dönemde Çin, büyüyen demir sanayisiyle, kâğıt sanayiini yaratmasıyla, pusulayı icadıyla, matbaa makinasını ve barutu keşfiyle, yeniliklerin ve keşiflerin merkezini oluşturdu. Tüm bu yenilikler de kömür kullanımında ilave bir talebe zemin sağladı. Çin'in kuzeyinde egemenliğini sürdürmekte olan Kuzey Song Hanedanı (M. S. 960-1127), düşman saldırılarını püskürtmek için silah yapımında daha fazla demir ve ona biçim veren kömür (kok) üretimine ağırlık verdi.

***Kömür, birim miktarı yakıldığında, oduna göre çok daha fazla ısı verdiği ve odunun olmadığı yerlerde de yaygın olarak bulunabildiği için hızla kullanım alanını genişletti.*** Sadece ısınma amaçlı yakıt olarak değil; *maden eritme, alaşım hazırlama ve elektrik üretimi* için de kullanıldığı için, önemi ve tüketimi daha da arttı. *Bomba, fişek gibi bazı askeri malzemelerin imalatında* da kömür kullanılmaya başlandı. 12. Yüzyılda pik (dökme) demir üretimi için sadece bir bölgesinde kullanılan kömür miktarı, tüm İngiltere'de 1700'lü yıllarda tüketilen kömürden fazlaydı. Batı'nın Çin'in seviyesine ulaşması ise çok uzun bir zaman aldı.

**Amerika kıtasında ise kömürün ilk kez Aztek'ler tarafından ve takılarını imal ederken kullanıldığı öne sürülmektedir.**

**Büyük Britanya Romalı'ların egemenliği altındayken,** M. S. 2. Yüzyıl sonlarında **Romalı'lar**, ülkenin tüm büyük kömür madenlerinden üretim yapıyorlardı. Bu dönemde kömür ticareti daha çok ada sınırları içinde yapılıyordu. O tarihlerde kömür, **halka ait hamamlarda, odaları ısıtmaya mahsus yeraltı ısıtma sistemlerinde (hypocaust<sup>3</sup>), askeri kalelerdeki hamamlarda,** varlıklı Romalı'ların villalarında kullanılıyordu. Yapılan kazılarda, Roma İmparatorları'ndan Hadrian'ın adıyla anılan ve "Vahşi Kaledonyalılar'ın saldırılarını önlemek için" yaptırdığı, İskoçya'yı İngiltere'den ayıran Hadrian Duvarı boyunca, kömür depolarının ortaya çıkması bu görüşlere haklılık kazandırdı.

Romalı'lar Britanya adasını M. S. 410 yılında terk ettikten sonra, M. S. 12. Yüzyıla kadar, kömür kullanımına ilişkin bir kayda rastlanmadığı ileri sürülmektedir.

1215'te Magna Carta'nın imzalanmasının ardından kömür ticareti, kömür tabakalarının deniz kıyısında yüzeye çıktığı İskoçya ve Britanya'nın kuzey batı bölgelerinde gelişmeye başladı ("Deniz kömürü" terimi bu nedenle ortaya atıldı). Ancak bu kömür, evlerdeki ocaklarda kullanıma uygun olmadığından, esnaf ve zenaatçılar tarafından kireç yakma, metal işleme ve döküm (eritme) işlemlerinde kullanılıyordu. 1228 yılında, "Deniz kömürü" ticareti, Londra'ya uzandı. 13. Yüzyılda kullanımı yaygınlaştıkça, yanma sırasında çıkardığı duman, Londra'da **hava kirliliğine**<sup>4</sup> ve buna bağlı olarak huzursuzluklara ve tepkilere yol açtı. 1273 yılında kömür kullanımı, "sağlığa zararlı" olduğu gerekçesiyle, önce Londra'da yasaklandı. Bunun ardından ise 1306 yılında yayımlanan bir Kraliyet Bildirisi ile esnafın ocaklarda kömür (deniz kömürü, yumuşak kömür) yakması yasaklandı; geleneksel olarak kullanılan **odun ve odun kömürüne dönüldü.**

<sup>3</sup> Hipokaust, Romalıların MS. 1. yüzyılda kurdukları merkezi ısıtma sistemidir. Bu sistem bir yapının zeminine inşa edilen bir fırınla işlemekteydi. Fırının ürettiği sıcak hava sütunlardan oluşmuş "hipokaust" adlı kanallardan geçiyor ve buradan da bir bacayla evin duvarlarına veriliyordu.

<sup>4</sup> Hidrokarbon yakıtlar arasında, hidrojen-karbon oranı en düşük olan kömür, karbon (dioksit) salımı bakımından petrol ve doğal gazla oranla sırasıyla (yaklaşık) bir buçuk ve 2 kat daha fazla salıma neden olmaktadır.

## MADENCİLİK TEKNİKLERİNDE GELİŞMELER VE SANAYİ DEVRİMİ

17. yüzyılda, **madencilik tekniklerinde bir dizi gelişme** yaşandı. Uygun kömür rezervlerini bulabilmek için uygulanan **delme teknikleri ya da galerilerdeki suyun boşaltılmasına yönelik teknikler** bunlar arasında sayılabilir. 18. Yüzyılda Kuzey Amerika’da da yeni ve kayda değer kömür yatakları bulundu.

**18. yüzyılda Britanya’da başlayıp tüm kıta Avrupa’sına, Kuzey Amerika ve Japonya’ya yayılan Sanayi Devrimi, buhar makinalarının<sup>5</sup> kömürle çalıştırılması temelinde gelişti.** Bu süreçte, buhar makinalarının demiryolları ile buharlı gemi taşımacılığında kullanılması ve bu makinalarında kömürle çalışıyor olması nedeniyle, uluslararası ticaret büyük bir hızla gelişti. Kömür, daha önce de belirttiğimiz gibi, oduna oranla çok daha ucuz ve verimli bir yakıt olduğundan, daha yaygın kullanım alanı buldu. Sanayi Devrimi geliştikçe, açık maden işletmeciliğinden yer altı madenciliğine dönüşüm ve buna bağlı olarak da küçük ölçekli üretim tekniklerinden, büyük ölçekli üretim tekniklerine geçiş süreci yaşandı.

İngiltere’de kömürün çok miktarda bulunuyor olması nedeniyle artan talep, hızla artan üretimle karşılanabiliyordu. 1700’de 3 milyon tonun altında olan kömür üretimi; 1815’de 16 milyon ton, 1830’da 30 milyon ton seviyesine yükseldi. Madenciler, dokuma işçilerine oranla, ithal iş gücü ya da ithal makinalardan daha az etkilendiklerinden sendikalaşmaya ve kömür madeni sahiplerine karşı sert ücret mücadelelerine girişmeyi başardılar. Madenciler Federasyonu önceleri Liberal Parti’yi, daha sonra (1918) İşçi Partisi’ni (bir kısmı Komünist Parti’yi) desteklemeye başladı.

**ABD’de** ise kömüre ait ilk kayıtlar, 1673 – 1674 döneminde, Louis Joliet tarafından hazırlanan bir haritada ve Illinois Nehri civarında not edildi. 1701 yılında Virginia’da (Richmond) ilk kömür keşfi gerçekleşti. Ancak ilk ticari üretim için 1748 yılının beklenmesi gerekti. 1750’lerde Pennsylvania, Ohio ve Kentucky’de kömür varlığı rapor edildi.

Çin’in önceki yüzyıllardaki konumu, ülkede kömür üretimindeki düşüşle birlikte, bir duraksama dönemine girdi. “Çin’de Bilim ve Uygarlık” kitabının yazarı Joseph Needham’a göre, **1900’lerde, Çin’in Batı’ya göre üstün konumu tersine döndü ve sanayide dünya hâkimiyeti Batı’ya geçti.** Bu yıllarda Çin’in başlıca rakibi konumundaki İngiltere, zengin kömür rezervleri sayesinde, ilk **Sanayi Devrimi’nin** ateşini yakıyordu. 1750 – 1850 arasındaki dönemde, İngiltere’nin nüfusu sadece 3 kat artarken, sanayi üretimi 7 kat arttı<sup>6</sup>. Çin’in geri kalmaya başlaması kömür üretimindeki düşüşe bağlanırken, İngiltere’nin yükselişi de çok zengin kömür rezervleri ve artan kömür üretimine bağlandı. 1700 – 1830 arasında, İngiltere kömür üretimi tam 10 kat artış gösterdi.

<sup>5</sup> Tarihte kayda geçen ilk “buhar makinası”, İskenderiye’li mühendis Heron’nun, birinci yüzyılda 50 yıllarına doğru Mısır İskenderiye’de, uçları birbirlerine göre zıt yönleri gösteren iki eğik tüpün yerleştirildiği oyuk bir küreden yaptığı türbin’dir. İngiliz mühendis Thomas Savery ise ilk ticari olarak satılan buhar makinesini 1698 yılında yapmıştır. Bu makine maden ocağından suyu dışarı atmak amacıyla kullanılmıştır. 1712 ‘de İngiliz mühendis Thomas Newcomen, yeni bir tür buhar makinesi geliştirdi. Bu makinenin Savery Makinesine göre en büyük avantajı, pistonun bir zincir yardımıyla tahterevallli benzeri bir tür kaldıraca tutturulmuş olması ve daha az tehlikeli bir uygulama sağlamasıydı. 1764 yılında bozulan Newcomen makinalarından biri onarılması için İskoçyalı mühendis James Watt’a verildi. Makinayı onaran Watt aynı zamanda randımanı düşük bu makineyi geliştirdi ve 1781 yılına gelindiğinde pistonun ileri geri hareketini ustalıkla bir tekerleğin dönme hareketine çeviren mekanik aletleri de icat etmişti.

<sup>6</sup> Seven Elements That Have Changed the World, John Browne, 2013

**Buhar makinesinin keşfi** ve ekonomik olarak kullanılabilir düzeye gelmesiyle (Heron, Savery, Newcomen, James Watt, ...) <sup>7</sup>, sanayinin ve ulaşımın “doğası” temelden değişti (1769). **Kol gücü, yerini hızla buharlı makinalara bırakmaya başladı** <sup>8</sup>. Zira ortalama bir işçinin ağırlığına eşit miktardaki kömürle, bir işçinin 100 günlük üretimi elde edilmeye başlanmıştı. Ancak gene de birincil enerji tüketiminde kömürün payı, 1880 yılında % 26,5 seviyesindeydi. Geri kalan pay, halâ odunundu.

Kömür giderek sadece buhar üretiminde değil, demir ve çelik (ve kok) üretiminde de yaşamsal bir girdi olmuştu. Büyük Britanya, çiftçiler ülkesi konumundan, imalatçıların ve fabrika işçilerinin ülkesine dönüştü. Lokomotifler, kömürden elde edilen buharla çalışırken, giderek daha fazla konut ve buharlı gemide yakıt olarak kömür kullanılmaya başlandı. Şehir aydınlatmalarında, kömürden elde edilen gaz ve yağ devreye girdi. Karada at arabalarıyla, nehirlerde sal ve teknelerle yapılan taşımacılık, kömürün yakılmasıyla elde edilen buharla çalışan trenlerle ve buharlı gemilerle yapılmaya başladı. **1800’lü yılların ilk yarısında daha küçük ve odunla çalışan trenler, yerlerini daha büyük ve kömürle çalışan trenlere bırakmaya başladı.**

Kömür 1814’de tuzlu suyun ısıtılması ve tuz elde edilmesi amacıyla kullanıldı. James Watt ve Matthew Robinson Boulton’un, 1795’te ortaklaşa kurdukları Soho Dökümhanesi’nin önünde, William Murdock 1802’de, halkın önünde, kömürden elde edilen gazla sokak aydınlatması yapılabileceğini gösteren ilk gösteriyi gerçekleştirdi. 1816’da ABD’de (Baltimore-Maryland) kömürden elde edilen gaz ile sokakların aydınlanması sağlandı <sup>9</sup>.

1830’lu yıllarda, Tom Thumb, ticari olarak kullanılabilen ilk Amerikan yapımı ve kömürle çalışan lokomotifin imalini gerçekleştirdi. Bunun ardından, odunla çalışmakta olan tüm Amerikan lokomotifleri, kömürle çalışacak biçimde dönüştürüldü <sup>10</sup>.

Ancak gene de birincil enerji tüketiminde kömürün payı, 1880 yılında % 26,5 seviyesindeydi. Geri kalan enerji gereksinimi odunla (biyoyakıt) karşılanmaya devam ediyordu.

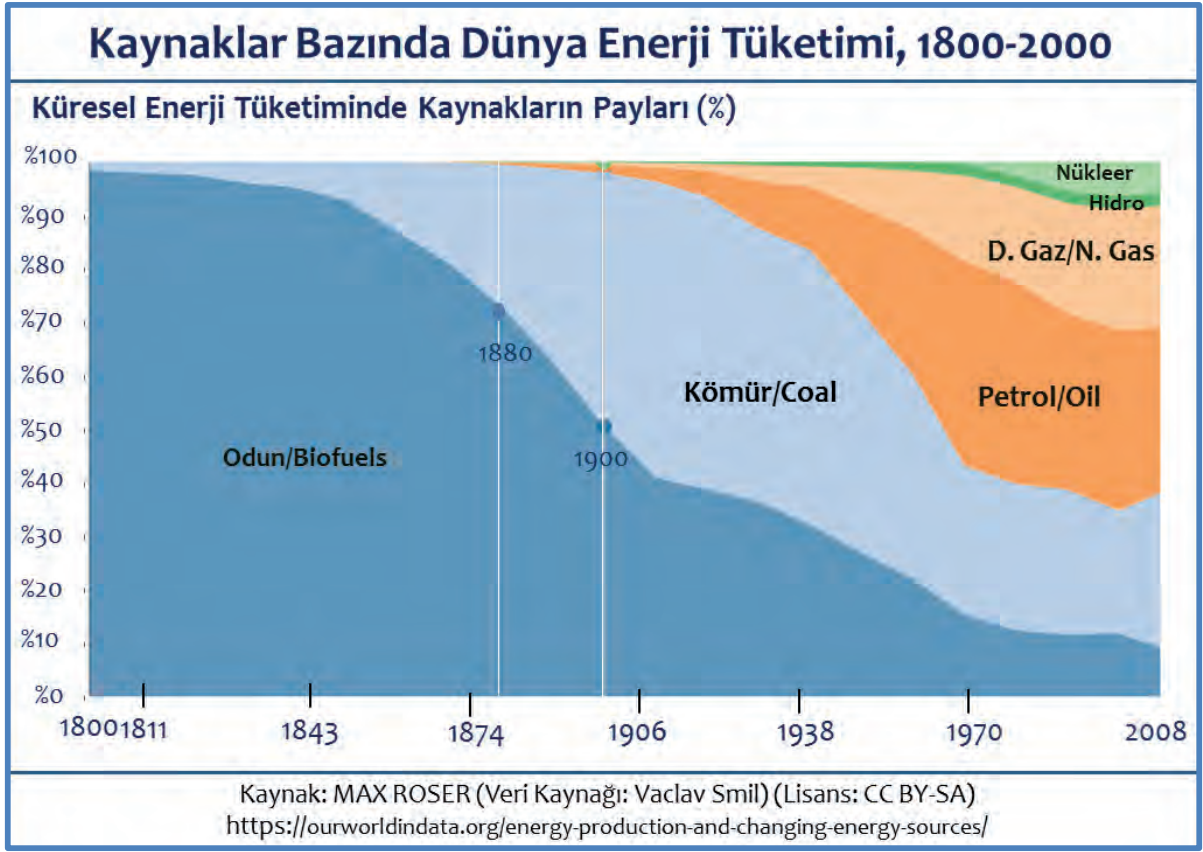
**1860’lardan sonra, kömürün çelik üretiminde kullanılmaya başlaması**, kömür sanayinin daha da gelişmesine ve bu kaynağın daha yaygın kullanımına yol açtı. 1881’de, (kömür) buharla çalışan tren, yolcu taşımacılığında dünya standardı haline geldi.

<sup>7</sup> James Watt’ın geliştirmesine rağmen buhar makinalarının verimi halen %7 civarında idi kalan %93 boşa giden ısı olarak kayboluyordu. Buhar makinasının verimini inceleyen ilk kişi Fransız fizikçi Nicolas Leonard Sadi Carnot’tur. 1824 yılında yayımladığı *Ateşin Tahrik Kuvveti Üzerine* isimli kitabında buhar makinasının maksimum veriminin en sıcak halindeki buhar ile en soğuk halindeki suyun sıcaklığı arasındaki farka bağlı olduğunu gösterdi. Carnot ısı ve işin birbirlerine dönüşmesi yolunu ilk olarak ele alan kişi olduğundan *termodinamik* biliminin kurucusu kabul edilmektedir.

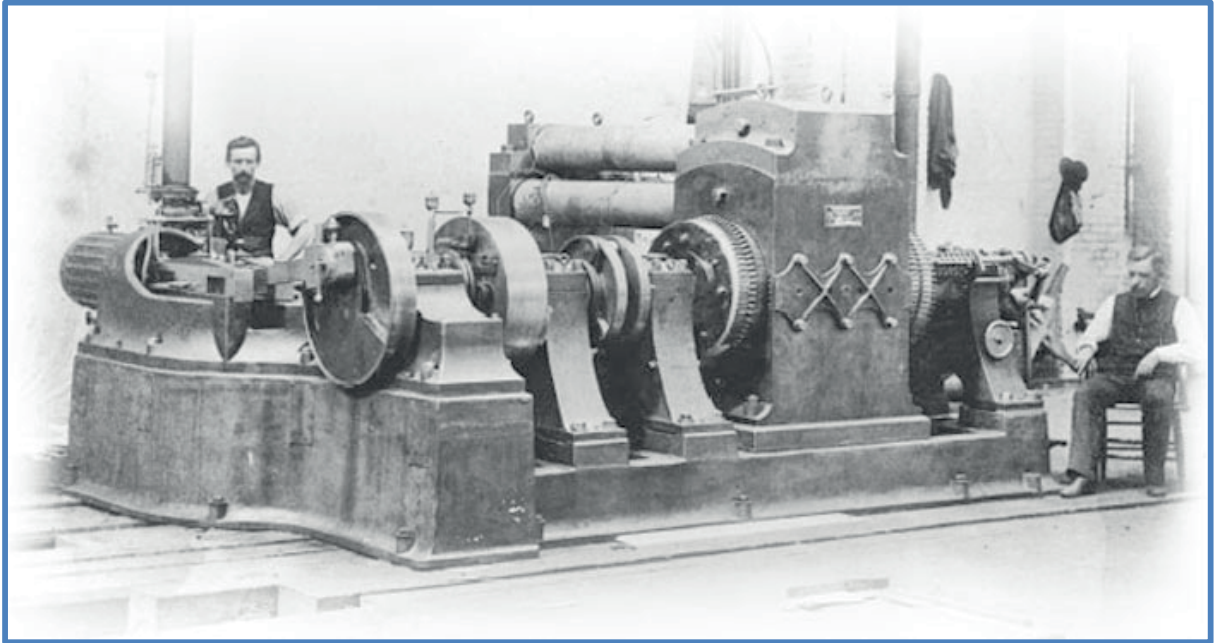
<sup>8</sup> James Watt buhar makinasının patentini 1769’da aldı.

<sup>9</sup> The Gas Light Company of Baltimore from History of Baltimore City and County (1881)

<sup>10</sup> Enerjinin İktidarı, Necdet Pamir, Hayy Kitap, Ocak 2016



4 Eylül 1882’de **Thomas Edison**’un geliştirdiği, kömürle çalışan ilk santral, New York kentinde konutların aydınlatılmasını sağlayan elektriği üretti (Manhattan’da Pearl Street Station).



Kurulduğu zaman tek jeneratörle çalışan ve 15 metreye 30 metrelik bir alan kaplayan bu kömür santrali, 400 lambayı aydınlatırken 82 müşteriye hizmet veriyordu. 1884’de müşteri sayısı 508’e, aydınlattığı lamba kapasitesi 10.164’e ulaşmıştı.

**18. yüzyılda Britanya’da başlayıp tüm kıta Avrupa’sına, Kuzey Amerika ve Japonya’ya yayılan Sanayi Devrimi, buhar makinalarının kömürle çalıştırılması temelinde gelişti.** Bu süreçte, buhar makinalarının demiryolları ile buharlı gemi

taşımacılığında kullanılması ve bu makinalarında kömürle çalışıyor olması nedeniyle, uluslararası ticaret büyük bir hızla gelişti. Kömür, o döneme kadar kullanılan oduna oranla çok daha ucuz ve verimli bir yakıttı. Sanayi Devrimi geliştikçe, açık maden işletmeciliğinden yer altı madenciliğine dönüşüm ve buna bağlı olarak da küçük ölçekli üretim tekniklerinden, büyük ölçekli üretim tekniklerine geçiş süreci yaşandı. 1900 yılına gelindiğinde ise kömürün payı % 47.3'e yükselirken, odunun payı % 50.5, petrolün payı % 1.5, doğal gazın payı % 0.5'di.

1860'da, dünya kömür üretiminin lideri **İngiltere**'ydi. **Kömür, İngiltere sanayisini ve özellikle de denizlere ve ham madde temininde dayandığı sömürgelere erişimini sağlayan donanmasını besleyen yakıttı.** Dünya kömür üretiminin % 60'ı İngiltere tarafından sağlanıyordu. 1912'de bu oran % 24'e geriledi. 1870'de dünya demir üretiminin % 49'unu sağlayan İngiltere'nin üretimdeki payı, 1912'de % 12'ye düşmüştü. Elektrifikasyon'da çok önemli bir girdi olan bakır üretimindeki payı ise 1889'daki % 32'lik paydan, 1913'te % 13'e geriledi. 1914'deki Birinci Paylaşım Savaşı öncesindeki İngiltere'nin durumu böyleydi.

**İngiltere, denizlerdeki rakipsiz hâkimiyetini sürdürmesini sağlayan donanmasının yakıt gereksiniminin karşılanmasında ve manevra kabiliyetinin arttırılmasında, devrimsel teknolojik dönüşümlere gereksinim olduğunu, bu olumsuz süreçte fark etti.** Bu aynı zamanda, dış politikasında da kökten bir değişim demektir. **Teknolojideki “devrimsel dönüşüm”, donanmanın yakıt gereksiniminin karşılanmasında, kömürden petrole dönüşümle sağlandı.** Başta İran petroleri olmak üzere, Orta Doğu toprakları ile Musul, Kerkük, Katar ve Kuveyt'i içine almış olan (o zamanki) Osmanlı coğrafyasında yer alan petrol rezervleri, İngiltere'nin (Majestelerinin Donanması'nın) hedef coğrafyası haline geldi.

Savaştan önce petrol, kömürün yerini almaya başlamıştı. Böylece, gemileri hareket ettirmek için üretilen buhar, iki kat, hatta (içten patlamalı makinalarda kullanıldığı takdirde de) dört kat daha ucuz hale gelmişti. Sadece maliyet azalmamış, gemiler çok daha hızlı hareket eder olmuştu<sup>11</sup>. Kömürle çalışan savaş gemilerinin dumanı 10 kilometre uzaktan fark edilebilirken, fuel-oil ile çalışan gemiler, gözle görülen bir duman çıkarmıyordu. Kömürle çalışan gemilerin tam güce erişmesi için 4 ile 9 saat arasında zaman gerekirken, fuel-oil ile çalışanlar için bu süre, dakikalarla ifade ediliyordu<sup>12</sup>. Kullanılan motor ağırlığı 3 kez, yakıt ağırlığı ise 4 kat azalmıştı. Ticari gemiler için de benzer avantajlar söz konusuydu. Tüm bu nedenlerle, bu süreçte ve 2. Paylaşım Savaşları'nda petrol, tarafların ele geçirmeye çalıştıkları asıl “ödül” konumundaydı<sup>13</sup>. Irak'ın işgali, Suriye'de ve Afrika kıtasında yaşananların da petrol ve doğal gaz kaynaklarının ele geçirilmesi, üretiminin ve taşıma yollarının kontrolü ile doğrudan ilgisi olmadığını iddia etmek hiç inandırıcı değildir.

<sup>11</sup> Kaynak: Imperial Quest for Oil: Iraq 1910-1928, Helmut Mejcher ; (St. Antony's Middle East Monographs no. 6); sayfalar: 35 – 42 (Aktaran: Hikmet Uluğbay).

<sup>12</sup> Eric J. Dahl, 'Naval innovation: from coal to oil,' Joint Force Quarterly, Winter, 2000. The details on oil versus coal powered ships is found in Anton Mohr, The Oil War, (New York, Harcourt, Brace & Co., 1926), 113-115. Anton Zischka, Oelkrieg: Wandlung der Weltmacht Oel, Leipzig, Wilhelm Goldmann Verlag, 1939) 293 for additional comparative data of oil over coal (Aktaran: William Engdahl - Oil and the origins of the 'War to make the world safe for Democracy'; F. William Engdahl, 22 June, 2007)

<sup>13</sup> Amiral Slade: “Eğer petrol alamazsak, hububat da pamuk da Britanya'nın ekonomik enerjisinin korunması için gerekli bin bir çeşit malı da alamayız. Güvenilir miktarda petrol stokunu makul fiyatlarla alabilmeyi garantilemek için amirallığın, talep ettiği petrolün çoğunluğunun ‘sahibi ya da en azından kaynaktan takipçisi’ olması gerekiyor.” 1914 yazında İngiltere hükümeti, Anglo Persian Oil Co.'nin (APOC) ana hissedarı oldu. Petrol, milli politikanın aleti ve stratejik metası konumunu kazandı.

1973–74 Petrol Ambargosu, enerji arz güvenliği konusunda endişe yaratınca, kömüre olan talep yeniden arttı. 1986 yılında, Temiz Kömür Teknolojisi Yasası kabul edildi. ABD 2003 yılında, 1 milyar dolar maliyetinde olacağı ve 10 yıl süreceği hesaplanan, kömürle çalışan dünyanın ilk “sıfır (karbon) salımlı” elektrik ve hidrojen santrali “demonstrasyon” projesine sponsor olma kararı aldı.

Benzer biçimde AB çatısı altında da kömür santrallerinde atmosfere yayılan salımların azaltılmasına yönelik yoğun çalışmalar sürdürülmektedir. “Zero Emissions Platform” (Sıfır Salım Platformu) adı ile oluşturulan platformun temel hedefi, 2050’li yıllara doğru, karbon salımlarını mümkün olan en düşük seviyeye, en düşük maliyetle düşürebilmek olarak özetlenebilir.

Tüm bu gelişmeler sonrasında, kömür halen dünya birincil enerji üretimindeki başlıca kaynaklardan biri olma ve elektrik tüketiminin de başlıca kaynağı olma konumunu sürdürmektedir.

## YAKIN GEÇMİŞTE VE GÜNÜMÜZDE KÖMÜR

Kömür, günümüzde başta elektrik üretimi olmak üzere; çelik üretimi, çimento imalatında kullanılan, kimya ve ilaç sanayilerinin önemli bir girdisi olan, stratejik bir kaynaktır. Kömürden yakıt eldesi (CTL) bir diğer yararlanma alanıdır.

Elektrik üretiminde buhar kömürü (termik kömür), çelik üretiminde ise kok kömürü (metalurjik kömür) kullanılmaktadır.

Kreozot (kırıcı yağ), fenol (damla, pastil vb.), nitrik asit, sabun, aspirin, plastik, naylon, suni ipek gibi, kimyasal ürünlerin üretiminde de kullanılır<sup>14</sup>.

2000’lerin ilk 10 yılı, “Kral Kömürün Dönüşü” diye tanımlanabilecek gelişmelerle geçti<sup>15</sup>. Özellikle Çin ve Hindistan’ın sürüklediği küresel kömür talebi, 2000 – 2010 döneminde, yıllık ortalama % 4.7 artış gösterdi. Kıyaslama yapılacak olursa; artış oranı petrolde % 1.2, doğal gazda % 2.8 olarak gerçekleşti. Dünya birincil enerji tüketiminde, 2000 yılında % 23 olan kömürün payı, 2010’da (halen olduğu gibi) % 29 oldu. Elektrik üretiminin omurgasını oluşturan kömürün payı % 41’e yükseldi. Ne var ki 2015 yılından itibaren, kömürün krallığı sarsılmaya başladı ve 1990 yılından bu yana ilk kez kömür talebi azaldı.

Çin’in kömür talebi, 2014’de sabitleştikten sonra, 2015’te yaklaşık % 3’lük bir düşüş gösterdi. Bunda temel neden, Çin’in sanayi ve enerji politikalarındaki değişiklik ve geçiş süreci ile açıklanmaktadır. Uzun yıllardan bu yana dünyanın en büyük ağır sanayisini yürüten Çin, son yıllarda hizmetler sektörüne öncelik ve ağırlık vermeye başlamıştır. ABD’de ise doğal gaz fiyatlarında yaşanan düşüşe bağlı olarak, doğal gaz kullanımı, kömürün aleyhine olmak üzere artış göstermiş ve 2015 yılında ilk kez doğal gaz, elektrik üretiminde, kömürle eşit miktarda üretim sağlamıştır.

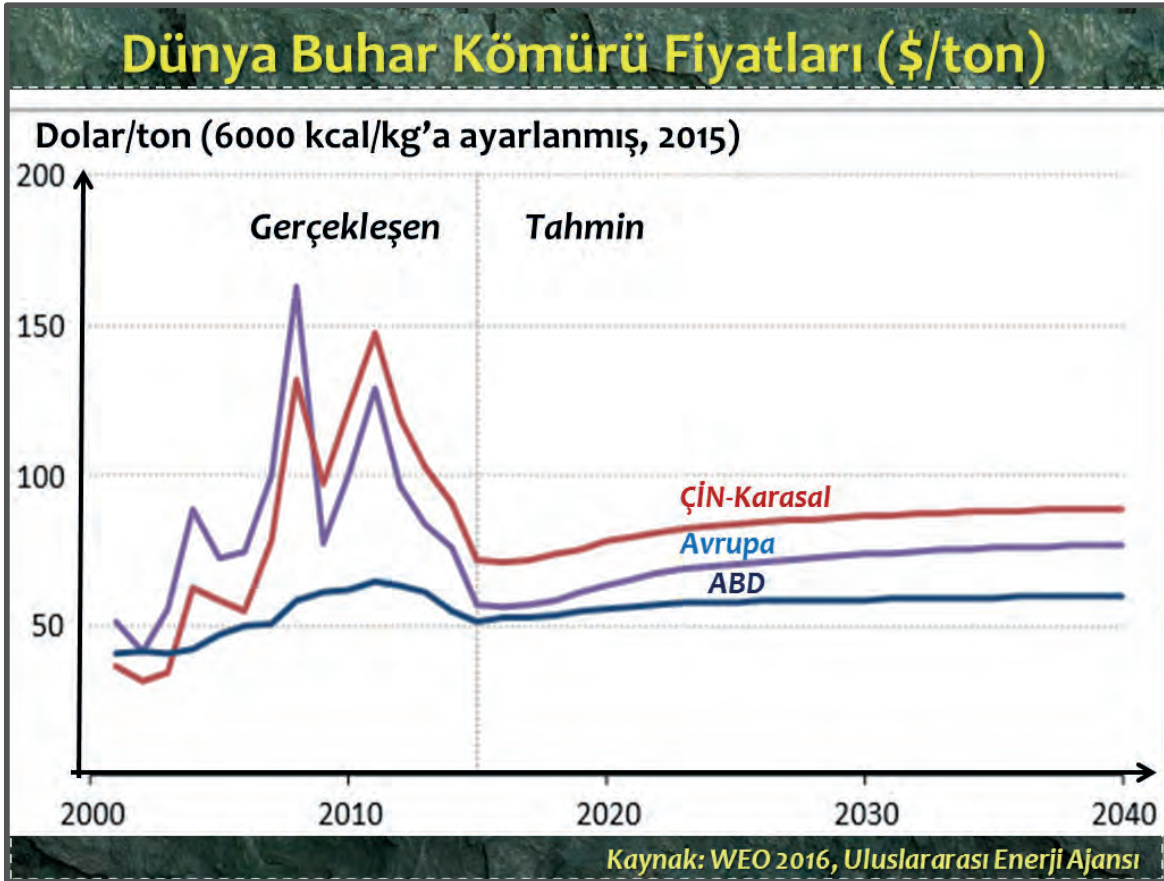
## SON YILLARDA KÖMÜR FİYATLARINDA DÜŞÜŞ

Son 4 yılda düşüş yaşamakta olan kömür fiyatları, Çin’deki kapasite azaltılmasına paralel olarak, 2016 yılının başlarında yukarı doğru bir eğilime girmiştir. Ancak uzun süre etkili

<sup>14</sup> <https://www.worldcoal.org/coal/uses-coal>

<sup>15</sup> World Energy Outlook 2016, Global Energy Trends, IEA, November 2106

olan fiyat düşüşü, kömür sanayisinde, kalıcı ve olumsuz iz bırakmış görünmektedir. Çin'in kömür üreticilerinin yaklaşık % 80'i, 2015 yılını zararla kapamıştır. ABD'de de durum farklı değildir. Kömür üreticilerinin yaklaşık yarısını ifade eden 50 civarında kömür üreticisi, iflastan korunabilmek amacıyla başvuruda bulunmuşlardır. Her ne kadar son dönemdeki fiyat artışları umut verse de birçok üretici ülkede, kârlılık için, yeniden yapılanma gerekli görünmektedir. Bu arada, bazı üretici ülkelerde çok sayıda kömür ocağı kapanmışsa da; *Avustralya, Güney Afrika, Rusya ve Kolombiya* gibi ülkelerdeki üretim seviyesi ya sabit kalmış ya da bir miktar yükselmiştir. Düşen fiyatlara karşın bu ülkelerdeki *dayanıklılık*, kısmen döviz kurlarındaki (olumlu) etki ile açıklanmaktadır<sup>16</sup>.



2000 yılında 10.04 milyar ton petrol eşdeğeri (mtpе)<sup>17</sup> olan **dünya birincil enerji tüketimi**, 2015 yılında 13.15 mtpе olarak gerçekleşti<sup>18</sup>. 2014 yılında bir önceki yıla göre % 1.1 artan birincil enerji tüketimi, 2015'te daha da düşük bir artış (% 1) gösterdi. Bu artış oranları, son 10 yılın, yıllık ortalama % 1.9'luk artışına oranla hayli düşük kaldı. 2015 yılı için ABD ve Japonya'da yaşanan ekonomik daralmalar, kısmen Avrupa'daki büyümeyle dengelendi. Gene de küresel enerji talep artışının tamamına yakını (% 97) gelişmekte olan ekonomilerden kaynaklandı. Çin, her ne kadar son 15 yıldır, enerji talep artışında açık ara en büyük payını korusa da son yıllarda enerji talep artış oranı düşüşte olan ülkeler arasında yer aldı.

<sup>16</sup> World Energy Outlook 2016, Global Energy Trends, IEA, November 2106

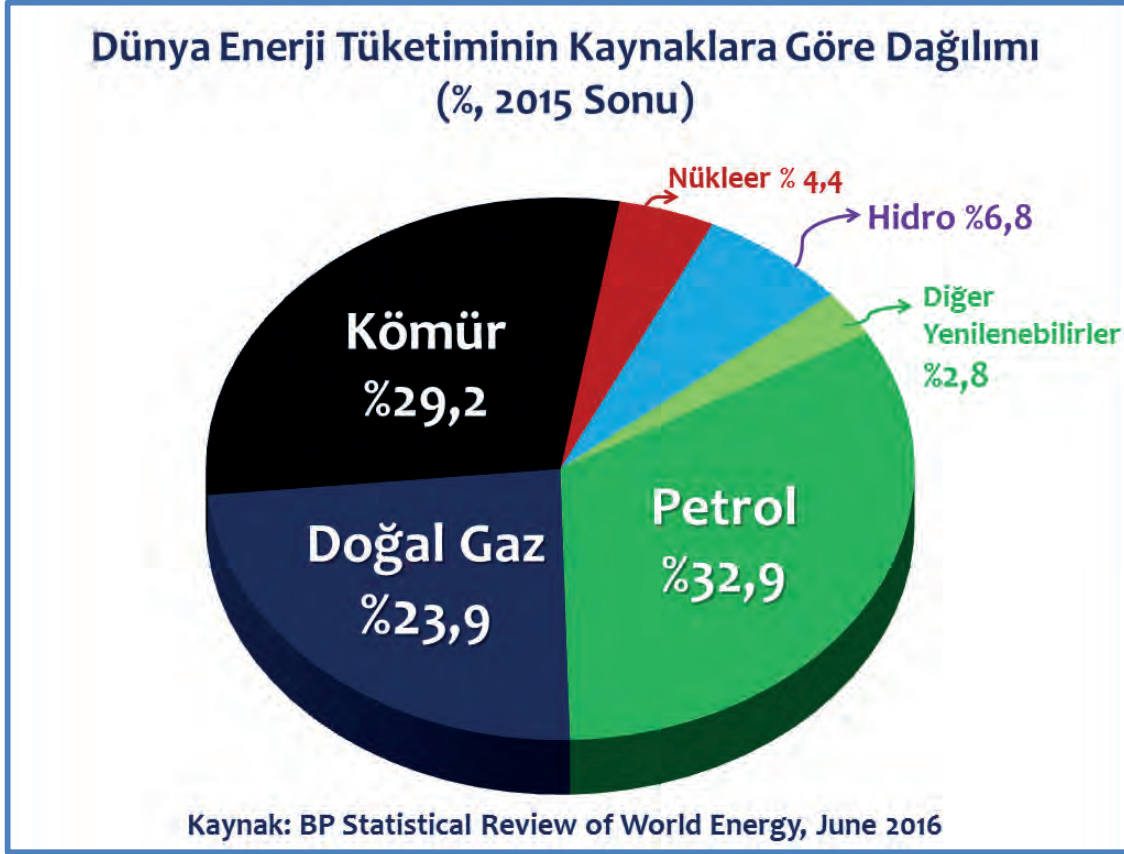
<sup>17</sup> World Energy Outlook 2016, IEA; Kasım 2016

<sup>18</sup> BP Statistical Review of World Energy, June 2016

## KÖMÜRÜN DÜNYA BİRİNCİL ENERJİ TÜKETİMİNDEKİ PAYI

Daha önce belirtildiği gibi, sadece kömür fiyatlarında değil; küresel ölçekte ve tüm bölgelerde, fosil kaynakların tamamının fiyatlarında (2015 yılında) düşüş yaşandı.

2015 yılında petrol, dünya birincil enerji tüketiminde % 32.9'luk payı ile ilk sırada yer alırken, **kömür % 29.2'lik payı ile ikinci sıradaki yerini korudu**. Fosil kaynaklar arasında görece daha verimli ve “temiz” olarak nitelendirilen doğal gazın payı ise % 23.9 oldu<sup>19</sup>.



## DÜNYA İSPATLANMIŞ KÖMÜR REZERVLERİ

BP istatistiklerine göre, 2015 yılı sonu itibarı ile dünya ispatlanmış kömür rezervleri 891.5 milyar ton olarak verilmektedir<sup>20</sup>. Bu rezervlerin 488.3 milyar tonu alt bitümlü ve linyit, 403.2 milyar tonu ise antrasit (taş kömürü) ve bitümlü kömür sınıfında yer almaktadır<sup>21</sup>. Petrol ve doğal gaz rezervlerine göre çok daha yaygın ve “dengeli” coğrafi dağılımı olan bu kaynakların, *mevcut ispatlanmış rezervler ve mevcut yıllık üretim miktarları dikkate alınarak hesaplanan rezerv ömrü* ise (Rezerv/Üretim) 2015 sonunda 114 yıl olarak verilmektedir<sup>22</sup>.

<sup>19</sup> BP Statistical Review of World Energy, June 2016

<sup>20</sup> BP Statistical Review of World Energy, June 2016

<sup>21</sup> BP Statistical Review of World Energy, June 2016

<sup>22</sup> Söz konusu rezervler, 1995 yılı sonunda 1.03 trilyon ton, 2005 sonunda ise 909 milyar tondur.





Dünya ispatlanmış rezervlerinin % 26.6'sı ABD'de, % 17.6'sı Rusya Federasyonu'nda ve % 12.8'i de Çin'de yer almaktadır. Avustralya, ispatlanmış kömür rezervlerinin % 8.6'sını, Hindistan % 6.8'ini, Almanya % 4.5'ini, Türkiye ve Kazakistan % 3.8'ini, Endonezya ise % 3.1'ini barındırmaktadır.

## DÜNYA KÖMÜR ÜRETİMİ VE TÜKETİMİ

2015 yılında **dünya kömür üretimi** 3.83 milyar ton petrol eşdeğeri (mtp) olarak gerçekleşti<sup>23</sup>. Uzun süreden beri dünya kömür üretiminin çok büyük bölümünü sağlayan Çin, 2015 yılında da dünya kömür üretiminin % 47.7'sini (1.83 milyar ton pe) gerçekleştirmiştir. Aynı yıl ABD, üretimin % 11.9'unu, Hindistan % 7.4'ünü, Avustralya % 7.2'sini, Endonezya ise % 6.3'ünü karşılamıştır. Avrupa Birliği'nin toplam kömür üretimi ise toplam üretimin % 3.8'idir.

2015 yılında **üretilen kömür miktarında, bir önceki yıla göre % 4 oranında bir azalma gözlemlendi**. Ülkeler bazında üretim azalma oranları ise; ABD'de % 10.4, Endonezya'da % 14.4 ve Çin'de % 2 olarak gerçekleşti.

<sup>23</sup> BP Statistical Review of World Energy, June 2016

## KÖMÜR PİYASASINDAKİ BAŞLICA AKTÖRLERİN ÜRETİM VE TÜKETİMLERİ, 2015

ÜLKE	KÖMÜR ÜRETİMİ, milyon ton pe	KÖMÜR TÜKETİMİ, milyon ton pe
Çin	1827.0 (% 47.7)	1920.4 (% 50.0)
ABD	455.2 (% 11.9)	396.3 (% 10.3)
Hindistan	283.9 (% 7.4)	407.2 (% 10.6)
Avustralya	275.0 (% 7.2)	46.6 (% 1.2)
Endonezya	241.1 (% 6.3)	80.3 (% 2.1)
Rusya Fed.	184.5 (% 4.8)	88.7 (% 2.3)

**Kaynak: World Energy Outlook 2016, IEA**

Kömür üretiminin de açık ara başlıca lideri olan **Çin, küresel kömür tüketiminin de tam yarısını (1.92 milyar ton, % 50) gerçekleştirmiştir.** Onu sırasıyla Hindistan (% 10.6), ABD (% 10.3), Japonya (% 3.1) ve Rusya Federasyonu (% 2.3) izlemiştir.

2000’li yılların ilk 10 yıllık bölümü (2000 – 2010), deyim yerinde ise, “Kral Kömürün Dönüşü” diye tanımlanabilecek bir süreç oldu. Çin ve Hindistan’ın sürüklediği küresel kömür talebi, 2000 – 2010 döneminde, yıllık ortalama % 4.7 artış gösterdi (Petrolde % 1.2, doğal gazda % 2.8).

Dünya birincil enerji tüketiminde, 2000 yılında % 23 olan kömürün payı, 2010’da (halen olduğu gibi) % 29 oldu.

Elektrik üretiminin omurgasını oluşturan kömürün payı % 41’e yükseldi. Ancak, **2015’ten itibaren, kömürün krallığı sarsılmaya başladı ve 1990 yılından bu yana ilk kez kömür talebi azaldı<sup>24</sup>.**

Çin’in kömür talebi 2014 yılında yükselişini sonlandırdı ve 2015 yılında, 2014’e göre % 3’lük bir azalma yaşandı. Dünyadaki en büyük ağır sanayi atılımını gerçekleştiren Çin, bu dönemde hizmetler sektörüne öncelik vermeye başladı.

ABD’de ise özellikle konvansiyonel olmayan gaz sahalarından (‘shale’ gazı dahil) elde edilen üretimin de katkısı ile doğal gaz arzında önemli artış sağlandı. ABD’de dünya piyasalarına göre daha düşük olan gaz fiyatları daha da ucuzladı ve doğal gaz santrallerinin elektrik üretimine katkısında büyük artış yaşandı. Bu süreç, elektrik üretiminde kömürün payını, doğal gaz lehine azalttı. Bunun sonucunda, ABD tarihinde ilk kez, 2015 yılında doğal gaz, elektrik üretiminde kömürün payını yakalamış oldu.

4 yıldır sürekli azalmakta olan kömür fiyatları, Çin’in 2016 yılında üretim kapasitesini daraltması (1 milyar ton) sonrasında, 2016 başından itibaren yukarı doğru bir toparlanma yaşadı. Buna karşın, uzun süredir etkili olan fiyat düşüşü, kömür sanayisinde, kalıcı ve olumsuz iz bırakmıştır. Somut örnek vermek gerekirse; Çin kömür üreticilerinin yaklaşık % 80’i, 2015 yılını zararla kapamıştır. ABD’de de durum farklı değildir. Kömür üreticilerinin yaklaşık yarısını ifade eden 50 civarında kömür üreticisi, iflastan korunabilmek amacıyla başvuruda bulunmuştur. Fiyatların 2020’lerde toparlanması ve sonrasında sabit bir seyir

<sup>24</sup> World Energy Outlook 2016, Coal Market Outlook, November 2016, International Energy Agency

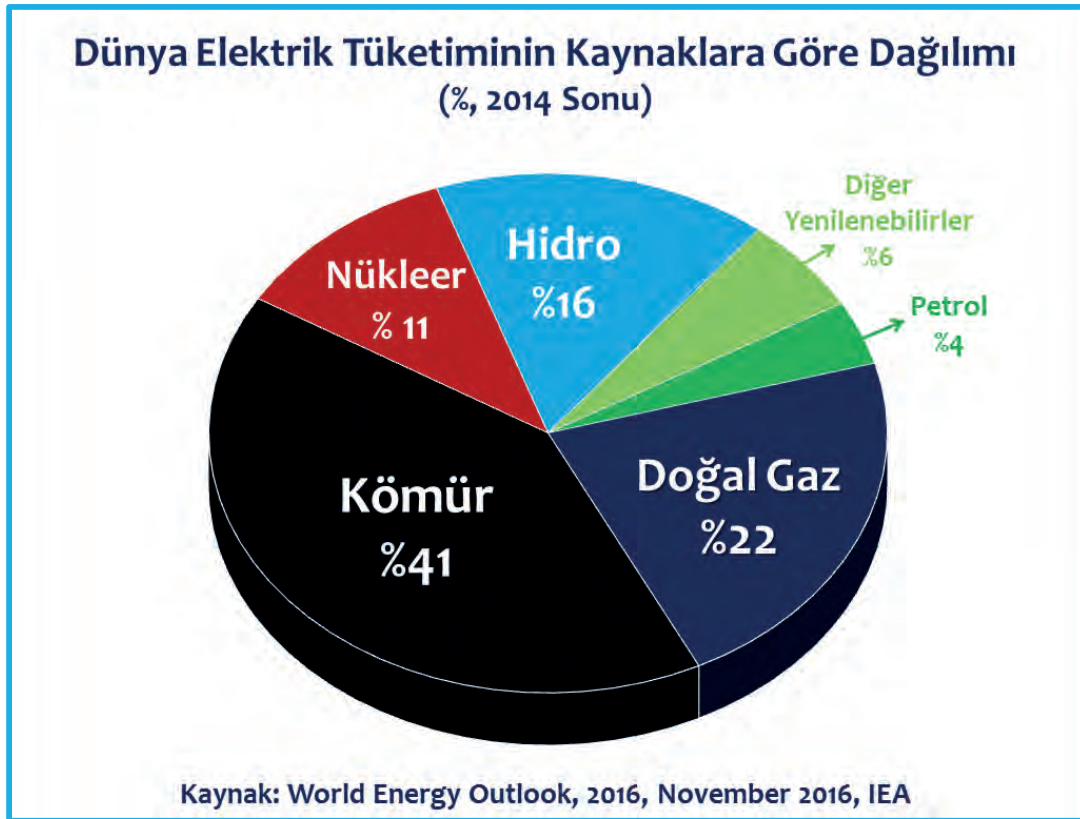
izlemesi beklenmektedir. Arz fazlası kapasitenin kısıtlanmasına yönelik politikalar, Çin, ABD ve ihracata odaklı diğer ülke üreticileri açısından, sorun olmaya devam etmektedir<sup>25</sup>.

Başlıca ülkeler bazında özetlenen bu gelişmelere değindikten sonra, küresel ölçekte tüketim tarafını toparlamakta yarar görülmektedir:

2015 yılında 3.84 milyar ton olan küresel kömür tüketimi, bir önceki yıla göre % 1.8 oranında bir azalmaya işaret etmektedir. Bu düşüş, son 10 yılda, yıllık ortalama kömür talep artışı rakamı olan % 2.1 ile kıyaslandığında, talepte ciddi bir daralma olduğu görülmektedir. (Son 10 yıl için değerlendirme yapıldığında) En büyük daralma, % 12.7'lik oranla ABD'de gerçekleşirken, Çin'in kömür talebinde de % 1.5 oranında azalma yaşanmıştır. Bu düşüşler, Hindistan'ın kömür tüketimindeki % 4.8'lik ve Endonezya'nın % 15'lik artışlarla, kısmen dengelenmiştir.

Kömür, 2015 yılında da özellikle elektrik tüketiminin başlıca kaynağı olma konumunu sürdürmüştür. Elektrik üretiminde son on yıllarda, önemli değişiklikler yaşanmaktadır. Örneğin, elektrik üretiminde nükleer payı 1970'lerden 1980'lere kadar önemli oranda artarken, *doğal gazın payı da özellikle 1980'lerden itibaren yükselmeye başladı*. Petrol ürünlerinin elektrik üretimindeki kullanımı ise 1970'li yıllardan itibaren petrol fiyatlarındaki sert yükselişe paralel olarak hızla düştü. 2000'li yılların başından itibaren, sera gazı salımlarının (emisyon) yarattığı kaygılar, görece daha az salıma neden olan doğal gazın ve yenilenebilir kaynakların, elektrik üretimindeki paylarını arttırdı.

Tüm bu gelişmelere karşın, **2014 yılında dünya elektrik üretiminde kömürün payı % 41 olarak gerçekleşti.**



<sup>25</sup> World Energy Outlook 2016, Coal Market Outlook, November 2016, International Energy Agency

İlerleyen bölümlerde daha ayrıntılı değineceğimiz “**geleceğe yönelik beklentiler**” (**Senaryolar**) de kömürün payı bakımından, çok iyimser görünmemektedir.

Aralık 2015’te Paris’te gerçekleşen **COP21** toplantısında, taraf ülkeler, “küresel ısınmanın 2100 yılına kadar 2° C’ın altında tutulması” hususunda mutabakata vardıklarını açıklayan bir anlaşma imzaladılar. Bu toplantının öncesinde, 180’den fazla ülke, kendi ülkelerinde, sera gazı salımlarını nasıl sınırlayacaklarını (azaltacaklarını) formüle eden raporlar hazırladılar ve taahhütlerde bulundular. Her ne kadar taahhütler ile uygulamalar arasında hemen her zaman farklılıklar beklenmeliyse de söz konusu taahhütlerin gerçekleşebilmesi için en “geçerli” hedef, kömür kullanımının azaltılması olarak öne çıkmaktadır.

Son yıllardaki piyasa ve politika gelişmelerine bakılacak olursa; kömür arz ve talebinin azalması, sabit kalması ya da artması konularında tahmin yapabilmek açısından, ciddi bir belirsizlik yaşanmaktadır.

**TALEP TARAFINDA** en büyük belirsizlik, hükümetlerin çevre ve iklim değişikliği konularındaki kararlılığı konusunda yaşanacaktır. Bu bağlamda, kömürün enerji karışımındaki geleceği, giderek artan biçimde, karbon tutma ve depolama<sup>26</sup> uygulamalarındaki teknolojik ve ekonomik gelişmelere ve kamuoyu algılarına bağlı olacaktır.

**ARZ TARAFINDA** ise temel sorular, “arz ve talep arasındaki dengenin ne zaman sağlanabileceği” ve “eğer sağlanabilirse bunun, kömür sanayisine yeni yatırımların ‘cazip’ olmasını sağlayıp sağlayamayacağı” sorularıdır.

### **GELECEĞE YÖNELİK ENERJİ SENARYOLARI VE “KÖMÜRÜN GELECEĞİ”**

Başta *Uluslararası Enerji Ajansı* olmak üzere, enerji alanında etkili olan ve politika üreten çeşitli kuruluşlar, önümüzdeki on yıllar için, bazı temel varsayımlar çerçevesinde senaryolar geliştirmektedirler. Söz konusu senaryolarda, (genelde üç farklı senaryo çerçevesinde); olası ekonomik ve politik gelişmeler, enerji kaynakları bazında arz ve talebin olası gelişimi, bölgeler ve ülkeler bazında arz ve talep, olası fiyatlar gibi hususlarda tahminler yapılmaktadır. Bu senaryolar arasında en bilineni, bir OECD kuruluşu olan *Uluslararası Enerji Ajansı*’nın her yıl yayınladığı “*Dünya Enerji Görünümü*” (World Energy Outlook) raporudur. ABD Enerji Bakanlığı’nın “International Energy Outlook” raporları da benzer içerikli senaryolar içerir<sup>27</sup>. Bu raporlarda yer alan senaryolar, en genel hatlarıyla ve belli oranda, OECD üyesi büyük aktörlerin politika tercihlerini yansıtır diyebiliriz. Bu raporlarda yer alan senaryolar arasında; mevcut politikaların devamı, yeni politikalar ve karbonsuzlaştırma (450 Senaryosu)<sup>28</sup> senaryoları yer almaktadır.

Bu kuruluşların yanı sıra, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji karışımı içindeki paylarını ve enerji verimliliğini artırma temelinde politikaları, küresel ölçekte yaşama geçirmeyi amaç edinen IRENA (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı), WWF (World Wildlife Fund – Dünya Doğayı Koruma Vakfı) ve Greenpeace gibi kuruluşların senaryoları da geniş kitlelere ulaşmaktadır. Bu ikinci grup kuruluşların hazırladığı “Geleceğe Bakış”

<sup>26</sup> Karbon Tutma ve Depolama: Carbon Capture and Storage (CCS)

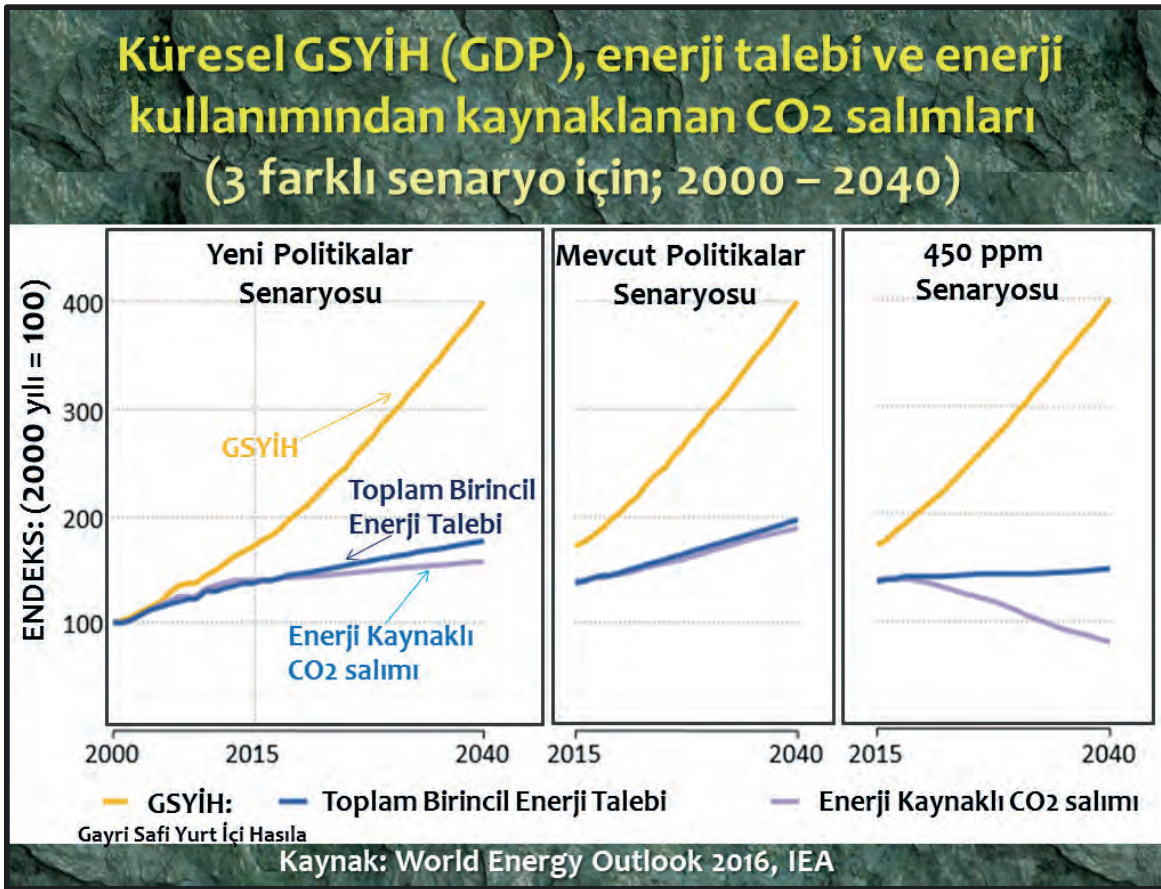
<sup>27</sup> ABD Enerji Bakanlığı (Energy Information Agency) senaryolarında ise, yüksek ve düşük hızlı ekonomik büyüme senaryolarının yanı sıra, 3 değişik petrol fiyatı varsayımı (Referans, yüksek ve düşük) dikkate alınmaktadır.

<sup>28</sup> 450 Senaryosu, 2100 yılına kadar küresel ısınmadaki artışı, sanayileşme öncesine kıyasla 2 °C ile ve sera gazı salımlarının atmosferdeki konsantrasyonunu, 450 ppm ile sınırlamayı hedefleyen politikalar senaryosudur.

senaryolarında, kuruluş amaçlarına paralel olarak, başta kömür olmak üzere, fosil yakıtların enerji karışımı içindeki paylarının önümüzdeki on yıllarda mümkün olan en az seviyeye düşürüldüğü ve özellikle kömür kullanımının “sıfırlandığı”, “ihtiraslı” denebilecek politikalar ile bunlara bağlı sonuç ve beklentiler vardır.

Bu genel saptamaları yaptıktan sonra, kömürün olası geleceğini, öncelikle Uluslararası Enerji Ajansı'nın Dünya Enerji Görünümü 2016 (WEO 2016) raporundan özetlemeye çalışacak olursak; **“Yeni Politikalar” başlıklı referans senaryo** çerçevesinde, aşağıda aktarılan temel hususlar öne çıkmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın Kasım 2016'da yayınladığı WEO 2016 başlıklı raporda, 3 farklı senaryoya göre; ekonomik büyüme, enerji talebi ve enerji faaliyetlerinden kaynaklanan CO2 salımlarının olası seyri, aşağıdaki şekildeki gibi verilmektedir.



Ekonomik büyüme ile enerji talebi ve CO2 salımları arasındaki ilişki, Yeni Politikalar Senaryosu'nda hala kayda değer iken, 450 Senaryosu'nda bu bağlılığın iyice zayıf olduğu (ilişkinin azaltılması/bağın koparılması, istenen/hedeflenen bir husustur) görülmektedir.

## WEO 2016 (DÜNYA ENERJİ GÖRÜNÜMÜ-2016) : VURGULANAN BAŞLICA BEKLENTİLER

Tüm modern enerji kaynakları talebi, 2040'a kadarki dönemde artarken, fosil yakıtlar arasında, enerji **tüketiminde** en az artışın kömürde (yıllık ortalama artış: % 0.2) olması beklenmektedir. Petrol talebinin 2040 yılında günde 103.5 milyon varile erişeceği

hesaplanmaktadır<sup>29</sup>. Doğal gaz tüketiminin ise % 50 civarında bir talep artışı ile 2040'da kömürün payını yakalayacağı öngörülmektedir. 2014 yılında dünya birincil enerji tüketiminde % 28,7 olan kömürün payı, referans (Yeni Politikalar Senaryosu) senaryoda, 2040 yılında % 23.2 olurken, doğal gazın payı % 21.1'den % 24.1'e yükselmektedir.

Dünya Birincil Enerji Tüketimi, Kaynaklara göre; % (Yeni Politikalar Senaryosu)			
Yıllar →	2014	2025	2040
<b>KÖMÜR</b>	<b>28,7%</b>	<b>25,8%</b>	<b>↘ 23,2%</b>
<b>Petrol</b>	<b>31,2%</b>	<b>29,8%</b>	<b>↘ 26,7%</b>
<b>Gaz</b>	<b>21,1%</b>	<b>22,1%</b>	<b>↗ 24,1%</b>
<b>Nükleer</b>	<b>4,8%</b>	<b>5,8%</b>	<b>↗ 6,6%</b>
<b>Hidro</b>	<b>2,4%</b>	<b>2,7%</b>	<b>↗ 3,0%</b>
<b>Biyoenerji</b>	<b>10,4%</b>	<b>10,7%</b>	<b>↗ 10,5%</b>
<b>Diğer Yenilenebilirler</b>	<b>1,4%</b>	<b>3,1%</b>	<b>↗ 5,8%</b>
<b>CO2 salımları</b>	<b>32,2 Gigaton</b>	<b>33,6 Gigaton</b>	<b>36,3 Gigaton</b>
<b>Mevcut politikalarla CO2 salımları</b>	<b>32,2 Gigaton</b>	<b>36 Gigaton</b>	<b>43,7 Gigaton</b>

Kaynak: World Energy Outlook 2016, Uluslararası Enerji Ajansı

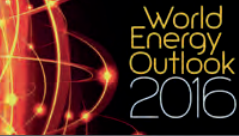
Tüm kaynaklar içinde en büyük talep artışı ise yenilenebilir kaynakların payında görülmektedir. Hidroelektrik, payını 2014 – 2040 arasında az miktarda (% 2.4'ten, % 3'e) arttırırken, diğer yenilenebilir kaynakların payı, aynı dönemde % 1.4'den % 5.8'e çıkmaktadır. Elektrik sektöründe, söz konusu dönemde ilave edilmesi beklenen toplam kapasitenin % 60'ının yenilenebilir kaynaklardan geleceği hesaplanmaktadır.

Dünya Enerji Görünümü 2016 raporunun referans senaryosunda, **elektrik tüketimi** içinde de kömürün payında ciddi oranda azalma beklenmektedir. Halen elektrik tüketiminde % 41 olan kömürün payının, 2025 yılında % 34'e, 2040 yılında ise % 28'e düşmesi beklenmektedir.

Dünya elektrik tüketiminde kaynaklarının paylarının 2014 – 2025 – 2040 yıllarındaki olası yüzdeleri, aşağıdaki şekilde yer almaktadır.

<sup>29</sup> BP Statistical Review 2016 raporuna göre, 2015 yılı günlük petrol tüketimi 95 milyon varil.

## Kaynaklara Göre Dünya Elektrik Üretimi, Yeni Politikalar Senaryosu, WEO 2016, IEA

 World Energy Outlook 2016	2014	2025	2040
<b>FOSİL YAKITLAR</b>	67%	58%	52%
<b>KÖMÜR</b>	41%	34%	28%
<b>Gaz</b>	22%	22%	23%
<b>Petrol</b>	4%	2%	1%
<b>Nükleer</b>	11%	12%	12%
<b>Hidro</b>	16%	17%	16%
<b>Diğer Yenilenebilirler</b>	6%	14%	21%

Kaynak: Dünya Enerji Görünümü, 2016 Raporu, Uluslararası Enerji Ajansı

Dünya Enerji Görünümü 2016 raporunun enerji ve elektrik tüketiminde kaynakların olası payları bakımından *genel* görünümüne ana hatlarıyla değindikten sonra, kömür alt sektörü için beklentileri (gene aynı rapor ışığında) biraz daha ayrıntılı olarak ele almakta yarar vardır.

### KÖMÜR PİYASASI GELECEK GÖRÜNÜMÜ<sup>30</sup>

- **Küresel kömür talebi**, 1990'ların sonundan itibaren ilk kez 2015 yılında azaldı. Referans Senaryo'da<sup>31</sup>, kömür talebi 2040 yılına kadar, yıllık ortalama % 0.2 oranında artacaktır. Küresel kömür talebinin, kömür santrallerine karşı artan kamuoyları tepkisine de bağlı olarak görülmesi beklenen bu zayıf artış hızıyla, 2014 – 2040 döneminde, 300 milyon ton artışla, 5.9 milyar tona çıkması beklenmektedir. Bu çok düşük artış oranı, 450 (Karbonsuzlaştırma) senaryosunun, **2040 yılına kadar olan kömür talebinin YILLIK ORTALAMA % 2.6 AZALACAĞINI öngören senaryosuna göre**, önemli oranda (kömürün payı lehinde) farklılık arz etmektedir.

Rapor, 2000 ile 2040 yılları arasında; beşer yıllık dönemler itibarı ile, bölgeler bazında kömür talebini aşağıdaki şekildeki gibi öngörmektedir.

<sup>30</sup> Coal Market Outlook, World Energy Outlook 2016, November 2016, sayfa 203

<sup>31</sup> Yeni Politikalar Senaryosu

## Bölgeler Bazında Kömür Talebi (milyon ton kömür eşdeğeri)

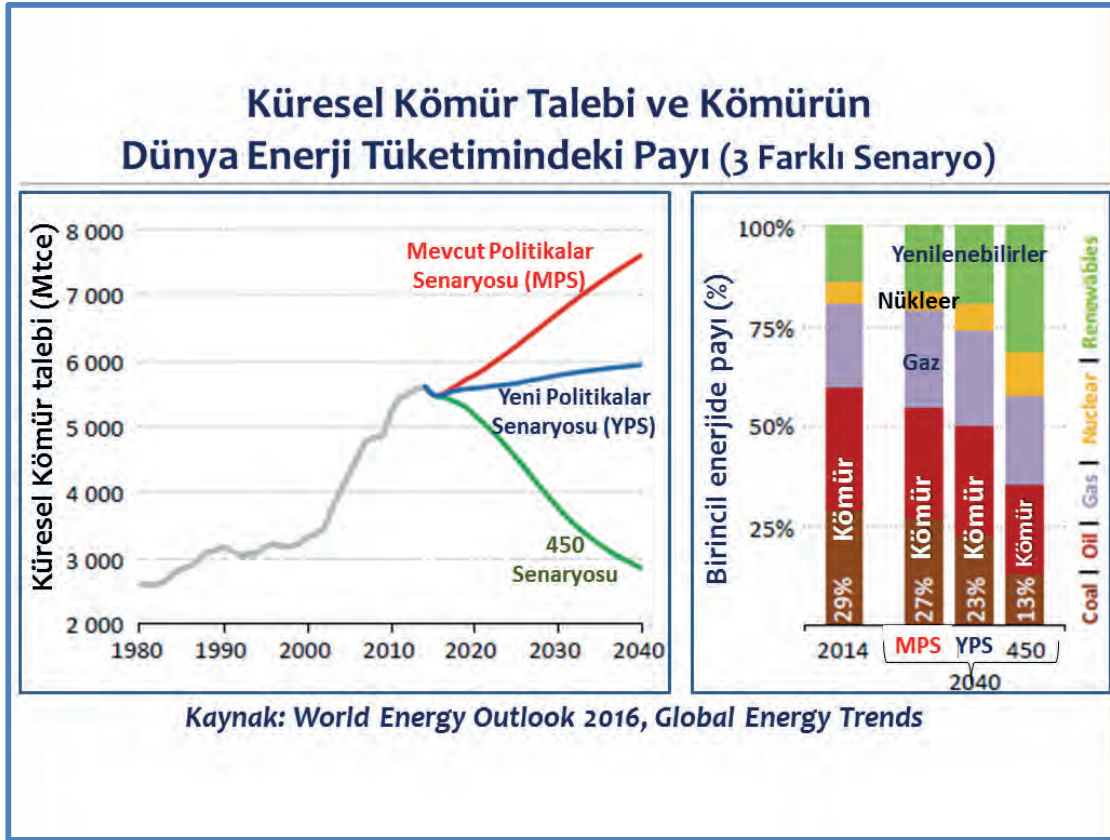
	2000	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2014-2040	
								DEĞİŞİM	YBBO*
<b>OECD</b>	<b>1 572</b>	<b>1 447</b>	<b>1 256</b>	<b>1 135</b>	<b>1 017</b>	<b>908</b>	<b>839</b>	<b>- 607</b>	<b>-2.1%</b>
<b>Amerika Kıtası</b>	822	672	556	506	463	422	396	- 276	-2.0%
<b>ABD</b>	762	617	510	463	429	394	370	- 246	-1.9%
<b>Avrupa</b>	481	427	364	322	266	217	195	- 232	-3.0%
<b>Asya-Okyanusya</b>	269	347	335	306	288	268	248	- 99	-1.3%
<b>Japonya</b>	139	169	158	145	138	129	119	- 51	-1.4%
<b>OECD Dışı</b>	<b>1 736</b>	<b>4 162</b>	<b>4 324</b>	<b>4 516</b>	<b>4 753</b>	<b>4 950</b>	<b>5 075</b>	<b>913</b>	<b>0.8%</b>
<b>D.Avrupa/Avrasya</b>	299	296	295	292	296	301	307	10	0.1%
<b>Rusya</b>	171	148	150	152	158	161	162	14	0.3%
<b>Asya</b>	1 282	3 664	3 821	4 000	4 216	4 379	4 458	794	0.8%
<b>Çin</b>	955	2 896	2 831	2 807	2 786	2 698	2 521	- 374	-0.5%
<b>Hindistan</b>	208	540	686	820	985	1 162	1 338	798	3.6%
<b>G.Doğu Asya</b>	45	142	201	257	313	371	430	288	4.4%
<b>Orta Doğu</b>	2	4	6	8	8	9	9	5	3.0%
<b>Afrika</b>	128	160	162	174	186	210	245	84	1.6%
<b>Güney Afrika</b>	117	146	137	134	127	121	117	- 28	-0.8%
<b>Latin Amerika</b>	25	37	39	42	47	52	57	20	1.7%
<b>Brezilya</b>	19	25	24	24	25	25	25	0	0.0%
<b>DÜNYA</b>	<b>3 308</b>	<b>5 609</b>	<b>5 580</b>	<b>5 650</b>	<b>5 771</b>	<b>5 858</b>	<b>5 915</b>	<b>306</b>	<b>0.2%</b>
<b>Avrupa Birliği</b>	459	383	319	277	217	168	142	- 241	-3.7%

\* YBBO: Yıllık Bileşik Büyüme Oranı

Bu senaryoda, (2040'a kadar) AB ve ABD gibi yüksek gelirli ekonomilerin kömür talebi, sırasıyla % 60 ve % 40 azalacaktır. Ancak, Hindistan ve Güney Doğu Asya ülkelerinin, artan enerji taleplerini karşılamada, bu (diğer kaynaklara göre) düşük fiyatlı kaynağı devre dışı bırakmaları, pek kolay görünmemektedir. Dolayısıyla bu ülkeler, gelecekteki kömür talep artışının başlıca sürükleyicileri olacaktır. 2014'den beri azalma eğilimine giren kömür talebi, ancak 2020 yılında 2014 seviyesini yakalayabilecektir.

- **Önümüzdeki birkaç yıl için ve orta vadede, kömür yatırımları oldukça hareketsiz bir seyir izleyecektir. Bunun başlıca istisnası ise büyük yeni kömür ocaklarının açılmakta olduğu ve büyük sermaye harcamalarının yapılmakta olduğu Hindistan olacaktır.** Diğer bölgelerde ise sermaye harcamaları; mevcut üretimi sürdürebilme ve nihai yatırım kararı verilmiş olan çok düşük harcamalı genişletme projelerine yapılacaktır. Orta vadede, Hindistan dışında yeni projeler beklenmemekteyse de bugüne kadar çok ciddi harcama yapılmış ve terk edilmesi zor olan uygulamalar için, harcamalar yapılacaktır.
- **Kömür sektöründe uzun vade içinse, çok yönlü politikalar geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bunlar arasında; enerji verimliliğini arttırmak, hava kirliliğine karşı önlemler, enerji yoksulluğunu azaltmak, karbon (dioksit) salımlarının fiyatlandırılması** gibi çeşitli politikalar yer almaktadır. Bunların tümünün de kömür piyasalarının geleceğine uzun vadeli etkileri olacaktır.

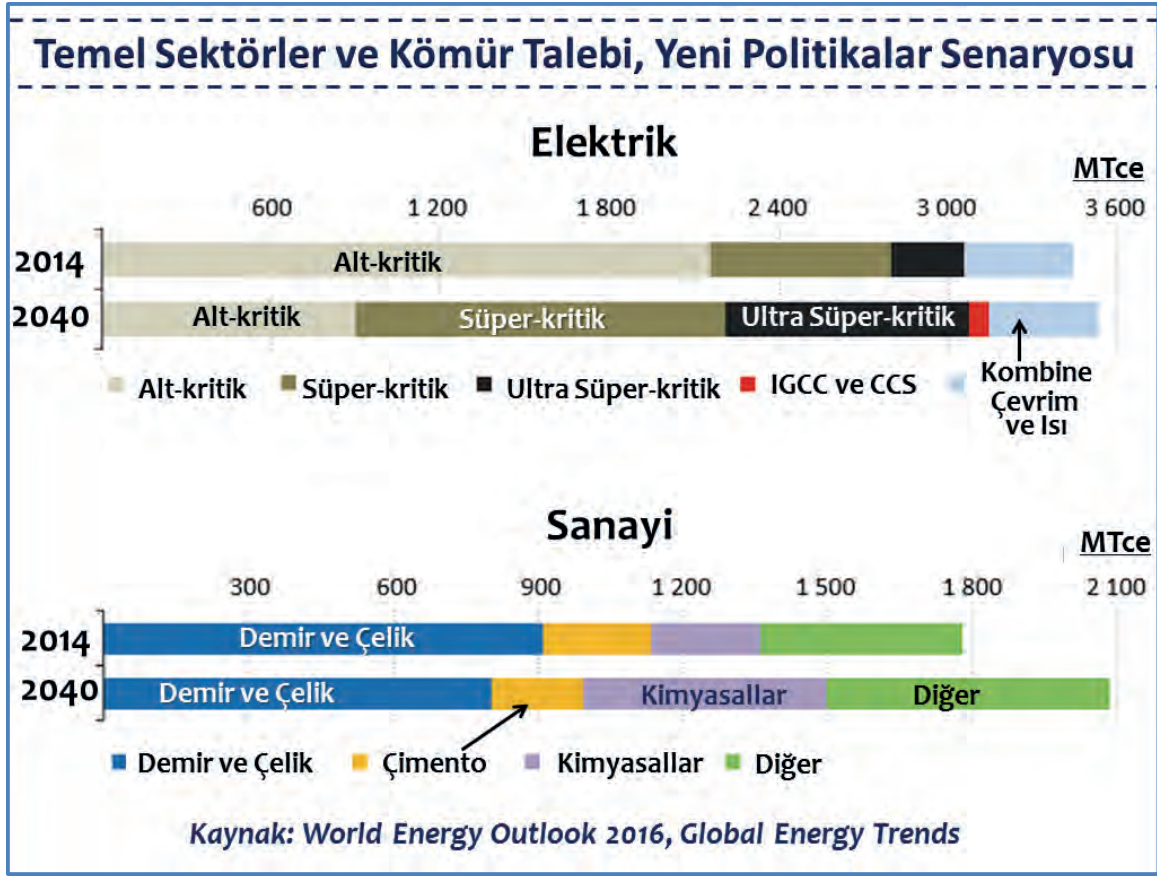




Uluslararası Enerji Ajansı'nın (WEO 2016) Yeni Politikalar Senaryosu'nda, 2014 – 2040 dönemi için; kömür talebinde son 25 yılda gerçekleşen yıllık ortalama % 2.4'lük büyüme oranının çok altında (yıllık ortalama % 0.2) bir artış öngörülmektedir. Bu azalma eğilimi, bir yandan COP21'de hükümetler tarafından verilen Ulusal Taahhütlere, diğer yandan da incelenen dönemde, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili maliyetlerdeki düşüşe bağlı olarak belirlenmiştir. Her ne kadar 450 Senaryosu'ndaki kadar sert bir gerileme (% 13'e düşüş) beklenmese de bu referans senaryoya göre; 2014 yılında dünya birincil enerji üretiminde % 29 olan kömürün payının, 2040'da % 23'e düşmesi beklenmektedir<sup>32</sup>.

- **Kömür talebinin sürükleyici iki sektörü, elektrik ve sanayi sektörleri olacaktır.** Küresel talebin % 60'ı, ısı ve elektrik tüketimine bağlı olarak, elektrik sektörünün gereksiniminden kaynaklanacaktır. Halen kömür tüketiminin üçte birini oluşturan sanayi talebi, 2040'da % 35'e yükselecektir. Kömürün binalarda ve ulaşımda kullanılan bölümü, zaman içinde ortadan kalkacaktır. 2014 yılında 9 700 TWh olan kömüre dayalı elektrik üretimi, 2040 yılında 10 785 TWh olacaktır. Ancak kömürün, elektrik üretimindeki payı 2014'deki % 41'lik seviyesinden, 2040'da % 28'e gerileyecektir. 2030'lardan itibaren, elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payı, kömürü geçecektir.

<sup>32</sup> Bir kez daha vurgulamak gerekirse; Trump'ın ABD başkanı olmasıyla, başta kömür olmak üzere fosil yakıtların enerji karışımı içindeki payının azaltılmasına yönelik Obama dönemi politikalarında, fosil yakıtlar lehine değişiklik olması kesin gibidir. Dünya Enerji Görünümü raporları her Kasım ayında yayınlandığından, 2016 yılı raporunda bu "senaryo" (Trump) yer almamaktadır.



Bu azalmadaki bir diğer etken, *kömür santrallerinde beklenen verim artışıdır*. Küresel ölçekte; kömür santrallerinin ortalama verimi % 44'e çıkacaktır. Verimlilik artışı, özellikle kazan teknolojilerindeki gelişmeden sağlanacaktır: Halen dünyadaki kömür santrallerinin yaklaşık % 70'i "alt-kritik" (subcritical) santraldır. Bunların oranının, 2040'da % 45'e düşeceği tahmin edilmektedir. Önümüzdeki 25 yılda, yaklaşık 400 GW yeni süper-kritik ve 330 GW ultra-süper-kritik santralin devreye girmesi beklenmektedir. Bunun sonucunda da elektrik sektörünün, alt-kritik santrallerden kaynaklanan kömür talebinin de 2014'deki % 70'lik payı, 2040'da % 30'a gerileyecektir.

- **Sanayi sektöründe ise demir ve çelik sanayisi, 2014 yılında % 50'ye varan payı ile açık ara en fazla kömür tüketen sanayi kesimidir. Ne var ki, çelik üretimin % 20 oranındaki artışına (yaklaşık 2 milyar tona ulaşacak) rağmen, 2040 yılında demir-çelik sanayisinin payı % 40'a düşecektir.** Bunun temel nedeni, bazik oksijen fırınlarında üretilen çeliğin, 2014'de % 75 olan payının, 2040'da % 50'ye gerileyecek olmasıdır. Zira bu dönemde, elektrik ark ocaklarında hurda demir kullanımındaki artışla birlikte, çelik üretimi hızla artacaktır. Oksijen fırınlarında çelik üretiminin (payının) azalması ve verimlilikteki artışla, söz konusu dönemde, demir-çelik sanayisinde tüketilen kömürde, 80 milyon tonluk (MTke<sup>33</sup>) azalma beklenmektedir. Bunun anlamı, 2015'te en yüksek seviyesine ulaşmış, düşüş eğilimine giren kok kömürü talebi, % 15'lik azalmayla, 2040'da 860 milyon ton (MTke) olarak gerçekleşecektir. Çelik üretiminde buhar kömürü tüketiminin artması da (örneğin; pulverize kömür enjeksiyonundaki kullanımı), kok kömürü kullanımını aşağı doğru baskılayan bir diğer etkidir.
- **2014'de 5 700 milyon ton (Mtke) olan küresel kömür arzının, yıllık ortalama % 0.2'lik artışla, 2040'da 5 915 Mtke'ye yükselmesi beklenmektedir.** Halen dünya taş

<sup>33</sup> Mtke: milyon ton kömür eşdeğeri (million tons coal equivalent: Mtce)

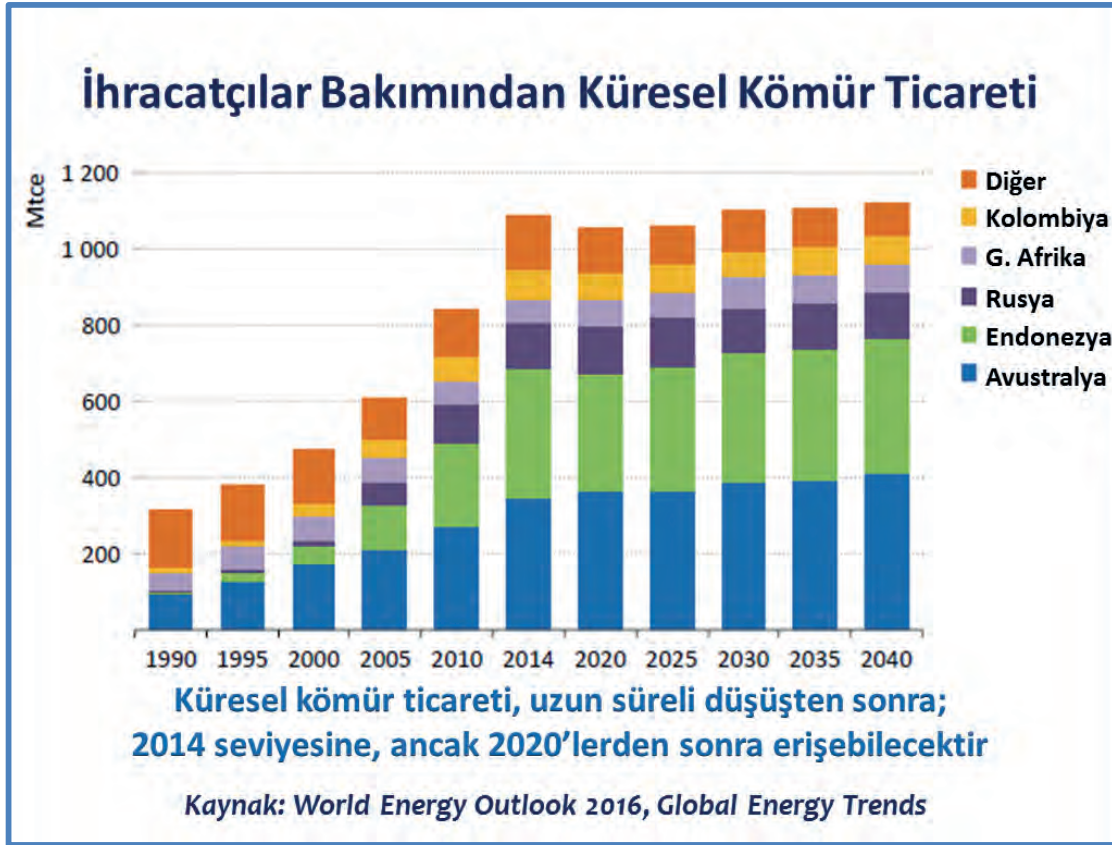
kömürü üretiminin % 60'ı yeraltı madenlerinden, geri kalanı yüzeydeki ocaklardan elde edilmektedir. Çin, dünya kömür üretiminin lideridir ve 2040'a kadar da bu konumunu muhafaza edecektir. Halen enerji içeriği bakımından beşinci, (ağırlık bakımından üçüncü) en büyük üretici olan Hindistan ise, 2020'lerden itibaren ABD'yi geçerek, ikinci sıraya yerleşecektir. Buhar kömürü üretimi, halen dünya kömür üretiminin % 77'sini oluşturmaktadır. Bu pay, 2040'da % 81'e yükselecektir. Kok üretimi ise 1 015 MTke<sup>34</sup>den, 2040'da 860 MTke'ye gerileyecektir. Halen kok üretiminin % 55'ini Çin sağlamaktadır; fakat bu payı, 2040'da % 40'a gerileyecektir. İkinci en büyük kok üreticisi (toplamın % 17'si) olan Avustralya'nın payı ise 2040'da % 25'e çıkacaktır. Özellikle AB, Rusya, ABD (ve Türkiye'de) üretilen linyit ise, dünya kömür üretiminin % 5'ini oluşturmaktadır. Yüksek karbon içeriği nedeniyle, linyit talebi 2040'a kadar azalarak % 4'e düşecektir. Talepteki değişim eğilimlerine bağlı olarak, kömür üretiminin ağırlık merkezinde de değişim olacaktır. Kömür üretiminde ABD, Çin ve AB'nin üretimi düşerken, başta Hindistan olmak üzere Endonezya ve Avustralya'nın arza katkıları artacaktır.

- **Hava kirliliği ile mücadele amacıyla, ağır sanayiden uzaklaşma ve enerji karışımında kömür dışı kaynaklara ağırlık vererek çeşitlendirme politikaları, Çin'in kömür tüketim politikalarını yeniden şekillendirecektir.** Dünya kömür tüketiminin yarısına karşılık gelen ve 2013 yılında en yüksek seviyesine ulaştıktan sonra düşüş eğilimine giren Çin'in kömür tüketimi, 2040'a kadar olan dönemde % 13'lük ilave bir azalma daha gösterecektir. Çin'in enerji karışımında 2014'de yaklaşık % 67 olan kömürün payı, 2040'da % 45'e gerileyecektir. Bu düşüşün temel sürükleyicisi sanayi sektörü olurken (kömür kullanımında % 25'lik azalma), elektrik üretiminde kömürün payı, 2014 ile 2030 arasında % 5 oranında azalacaktır.
- **Küresel çelik üretiminde, kömür-yoğun işlemler gerektiren bazik oksijen fırınlarının payı, 2014 yılındaki % 75'lik seviyesinden, 2040'da % 50'nin az üzerinde olacak biçimde azalacaktır.** Bunun yansıması olarak da aynı dönemde, kok kömürü kullanımında % 15'lik düşüş gerçekleşecektir. Küresel azalma eğilimindeki temel neden, Çin'in kok kömürü talebindeki ve üretimindeki sert azalmadan kaynaklanacaktır. Zira diğer çelik üreten ülkelerde (Brezilya ve Hindistan gibi) talep, artmaya devam edecektir. Bu ülkeler ise ağırlıklı olarak ithalata dayalı olduklarından; kok kömürü ticareti anılan dönemde, yıllık % 0.4'lük bir artış gösterecektir.
- **Aşırı kapasitenin neden olduğu fiyat düşüşü, kömür endüstrisinin kârlılığına ağır bir darbe vurmuştur:** ABD'nin kömür üretimini karşılayan şirketlerin yaklaşık yarısı, iflas etmemeleri için koruma altına alınırken, Çin'deki kömür üreticisi şirketlerin % 80'i 2015 yılını zararla kapamış durumdadırlar. Çin, yıllık kapasitesini 1 milyar ton azaltmak üzere, başarılı giden bir girişim başlatmış ve bu hamleyle fiyatlar, yukarı doğru dönüş yapmıştır. Yeni Politikalar Senaryosu, piyasanın 2020'li yılların başlarında yeniden dengeleneceğini ve bununla birlikte fiyatların da yukarı doğru bir seyir izleyeceğini öngörmektedir. 2014-2040 döneminde, Avustralya en büyük ihracatçı konumunu korurken, onu Endonezya izleyecektir.
- **Çin'in kömür ithalatı, orta vadede dalgalı bir seyir izlerken, uzun vadede % 85 oranında bir düşüş olması beklenmektedir.** Bu da 2020'li yılların sonlarına kadar küresel kömür ticaretinde ciddi azalmaya neden olacaktır. Daha sonrasında ise Hindistan ve Güney Doğu Asya ülkelerinde ithalat artışı beklendiğinden, ticaret hacmi, mevcut

<sup>34</sup> Mtke: milyon ton kömür eşdeğeri

seviyenin üzerine çıkacaktır. Buna karşın Hindistan karar alıcıları, kömür ithalatını azaltmaya kararlı olduklarını açıklarken, Çin'in net ticaret pozisyonu, iç tüketimindeki dalgalanmalara bağlı olacağından, Çin'in yeniden kömür ihracatçısı konumuna gelmesi olası görünmektedir. Bu temel belirsizliklerin her ikisi de küresel kömür piyasalarında daha uzun bir süre arz fazlası olmasına neden olabilecektir.

- **Dünya kömür ticaretinin, orta vadede durağan bir seyir izledikten sonra, 2020'lerden itibaren artması ve 2040 yılında 2014'e göre 40 MTke'lik bir artışla, 1 120 Mtke olması beklenmektedir. Küresel eğilimler, başta Çin olmak üzere (ithalatta 185 MTke azalma) başlıca ithalatçıların, talep daralmasından kaynaklanacaktır.**
- 2014 – 2040 döneminin ikinci yarısında ise, Hindistan başta olmak üzere, diğer ithalatçı ülkelerin artacak olan ithalat gereksinimleri, ticaret hacmini yukarı doğru çekecektir. **2015'te dünyanın en büyük kömür ithalatçısı konumuna yükselen Hindistan'a yönelik kömür ihracat hacminin, 2040'a kadar % 90'lık artışla, 340 Mtce olması beklenmektedir.** Çin, 2040 yılında, Japonya'nın da gerisine düşerek, kömür ithalatını 35 MTke seviyesine düşürecektir.
- Çin'in güneyindeki kıyıları, kömür fiyatlandırması için merkez bölgelerden biri olma konumunu, uzun süre devam ettirecektir. Ancak bu süreçte, dünya kömür ticaretinin belirleyici aktörü konumuna yükselecek olan Hindistan'ın batı kıyıları da yeni bir arbitraj noktası ve fiyat belirleyici merkez olarak ortaya çıkacaktır.
- **Uluslararası kömür ticaretinin ağırlığını, % 75'e erişecek payıyla, buhar kömürü ticareti oluşturacaktır.** Buhar kömürü ve kok kömürü ticaretlerinin, farklı düzenleri vardır. Buhar kömürü ticareti, daha çok dünya kömür talebini takip eder (örneğin orta vadede daralma, uzun vadede artış). Başlıca iki büyük buhar kömürü ithalatçısı Çin ve Hindistan, 2014 – 2040 döneminde, ithalata bağımlılıklarını, kademeli olarak azaltacaklar ve uzun yıllardır yıllık küresel kömür ithalat artış oranı olan % 0.4 yerine, % 0.1'lik bir artışla yetineceklerdir.
- Buna karşın, **küresel kok kömürü talebi, yıllık ortalama % 0.6'lık bir azalma gösterirken, küresel kok ticaret hacmi yılda ortalama % 0.4 artış gösterecektir. Bunun en önemli nedeni, çelik üreten her ülkede (Örneğin; Brezilya, Hindistan, Güney Doğu Asya bölgesi ve bazı Afrika ülkeleri...), kok kömürü üretimine uygun kömür rezervlerinin olmamasıdır.** Bu durum da zengin kok kömürü rezervlerine sahip Avustralya, Rusya, Kanada gibi ülkeler açısından (ihracat) önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Sonuç olarak; dünyada kullanılan kok kömürünün, 2014 yılında % 29'u uluslararası ticaretin konusu iken (ithalat-ihracat), 2040'da bu hacim, % 36 olacaktır.



## KÖMÜRÜN GELECEĞİNDE TEMİZ YAKMA TEKNOLOJİLERİ

Diğer fosil yakıtlara kıyasla, kömür çok daha yaygın bir coğrafyada bulunabilen ve elektrik üretimi için, görece daha ucuz bir seçenek sunan stratejik yakıttır. Bu nedenle de tüm hava kirliliği, sağlık ve iklim değişikliği kaygılarına karşın, dünyada elektrik üretiminde en fazla kullanılan enerji kaynağıdır. Enerjide dışa bağımlılık oranı, geçtiğimiz yıl % 76 olarak gerçekleşen ülkemiz için de bu bağımlılığı azaltmada, enerji ithalatının en önemli parametre olarak öne çıktığı cari açığı kapatmada ve istihdam sağlamada umut bağlanan önemli bir kaynaktır. Ancak üretimden tüketimine kadar olan süreçte, eğer doğru ve sorumlu politikalar uygulanmazsa, gerek iş güvenliği yönünden ve gerekse elektrik üreten santrallerin yayacağı; kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), azot oksit (NOX), küçük parçacıklar ve yüksek oranda sera gazı salımına neden olması nedeniyle insan ve doğa için ciddi risk oluşturur.

Bu nedenle de Uluslararası Enerji Ajansı ve ABD Enerji Bakanlığı gibi kuruluşlar başta olmak üzere, kömür ile ilgili uluslararası kurum ve kuruluşlar, kömür üreticisi büyük şirketler, kömürün daha az kirleten, hatta sıfır salımlı elektrik üretebilen teknolojilerle kullanım için yoğun çaba harcamaktadırlar. Böylelikle hem santral verimlerini arttıracaklarını, hem de salımları azaltacaklarını öne sürmektedirler.

Santral teknolojilerinde gerçekleştirilen çalışmalarla, daha önceki bölümlerde de değindiğimiz gibi, dünyadaki kömür santrallerinin ağırlığı, eski tip alt-kritik kömür santrallerinden, süper-kritik, ultra süper-kritik, ileri ultra süper-kritik, entegre gazlaştırma kombine çevrim (IGCC) santrallerine doğru dönüşmektedir. Bu teknolojiler, **YÜKSEK VERİMLİ, DÜŞÜK SALIMLI (YVDS)<sup>35</sup> santral teknolojileri olarak tanımlanmaktadır. Gazlaştırma** da bir diğer YVDS teknolojisidir. 2040 yılına kadar yeni ve ileri teknolojilere dayalı kömür santrallerinin çok daha fazla devreye girmesiyle, **dünya**

<sup>35</sup> Orijinal dilinde (İngilizce), “High Efficiency Low Emission” (HELE) teknolojileri olarak tanımlanıyor. Biz ise Türkçe olarak, “YVDS” diye kısaltacağız.

**kömür santralleri “filosu”nun ortalama veriminin % 44 olacağı hesaplanmaktadır. Halen ortalama verim, yaklaşık % 32.5 civarındadır.** Bir fikir vermesi bakımından, verimlilikte bu iyileştirmenin sağlanabilmesi halinde, küresel CO2 salımlarında, yaklaşık 2 Gigatonluk bir azaltma sağlanmış olacaktır. Bu da gene yaklaşık Hindistan’ın salımlarına eşittir. Kaldı ki sadece CO2 salımları değil, SO2, NOx ve küçük parçacık salımları da büyük oranda azaltılacak ve çok daha az kömür kullanılmış olacaktır.

Uluslararası Enerji Ajansı’nın teknoloji işbirliği programları arasında yer alan “Temiz Kömür Merkezi” Teknoloji İşbirliği Programı (Clean Coal Centre - CCC TCP), en fazla kömür tüketen 10 ülkede , yüksek verimli, düşük salımlı (YVDS) kömür santrali teknolojilerinin potansiyelini incelemiştir. Bu çalışmada, mevcut santrallerin yaşları ve verimlilikleri; ülkelerin ekonomik büyüme hızları, elektrik talep artış oranları, politikaları ve ilgili mevzuatları değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada da her bir ülkenin elektrik talebinin karşılanabilmesi için, 3 farklı senaryo üzerinde çalışılmıştır: (1) Mevcut santrallerle devam (2) eskileri 25 yıllık çalışma sonrasında devre dışı bırakıp, yenileriyle değiştirmek (3) eskilerin 50 yıl sonrasında devre dışı bırakılıp, yenileriyle değiştirilmesi. YVDS uygulamalarının, salım azaltmadaki fayda-maliyet potansiyelleri çıkarılmıştır.

Çalışma sonucunda, birkaç eğilim ortaya çıkmıştır. Birincisi, (politikalarda ve teşviklerde değişiklikler olmadığı takdirde) mevcut santrallerin YDVS teknolojileriyle çalışan santrallerle değiştirilmesi, ekonomik faktörlerin değerlendirilmesi sonucunda olabilecektir. İkincisi; en büyük yarar, mevcut santrallerin 25 yıl içinde değiştirilmesi (özellikle de YDVS teknolojileri, karbon tutma ve depolama - KTD teknolojileriyle birlikte kullanılırsa) seçeneği ile sağlanabilecektir. Bu eğilim, Çin’de giderek kabul görmektedir. Buna karşın OECD ülkelerindeki pratik, eski santrallerin 40 yıl çalıştıktan sonra devre dışı bırakılması yönündedir. Çin’de yaygınlaşmaya başlayan seçenek, elektrik talebi hızla artmakta olan Hindistan için de daha uygun görünmektedir.

“Temiz Kömür Merkezi” Teknoloji İşbirliği Programı tarafından gerçekleştirilen bu kapsamlı çalışmanın sonuçları, “Upgrading the Efficiency of the World's Coal Fleet to Reduce CO2 Emissions” başlıklı bir rapor olarak yayınlanmıştır.

Örneğin, **Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim (IGCC / integrated gasification combined cycle)** enerji santralleri, alt-kritik santrallere göre çok daha düşük seviyelerde çevresel kirlilik yaratmakta; düşük kaliteli kömürler, rafineri kalıntıları, atıklar ve biokütle gibi "kirli yakıtları" aynı anda yakabilmektedir. IGCC santralleri; sentez gaz, gaz türbininde yakılmadan önce, besleme stokunun karbon envanterini etkili bir şekilde yakalayarak (carbon-capture), kayda değer oranda CO2 azaltımı sağlamaktadır. “Tutulan” CO2, daha sonra yerin altına gömülebilmektedir (storage). IGCC santrali, genellikle yanma öncesi karbon yakalama olarak da bilinen ve önemli bir teknoloji olan Karbon Tutma ve Depolamayı (CCS / carbon capture and storage) kullanarak, daha düşük karbonlu bir seçenek yaratmaktadır.

Kömür Santral Teknolojileri ile Verimlilik ve CO <sub>2</sub> Salımları		
Santral Teknolojisi	Verimlilik (%)	Görece CO <sub>2</sub> Salımı (Mt)
Alt-Kritik	35	100
Süper-Kritik	40	87
Ultra Süper-Kritik (USK)	43	81
İleri Ultra Süper-Kritik	50	70

Kaynak: Clean Coal Centre, IEA, <https://www.iea.org/tcp/fossilfuels/ccc/>

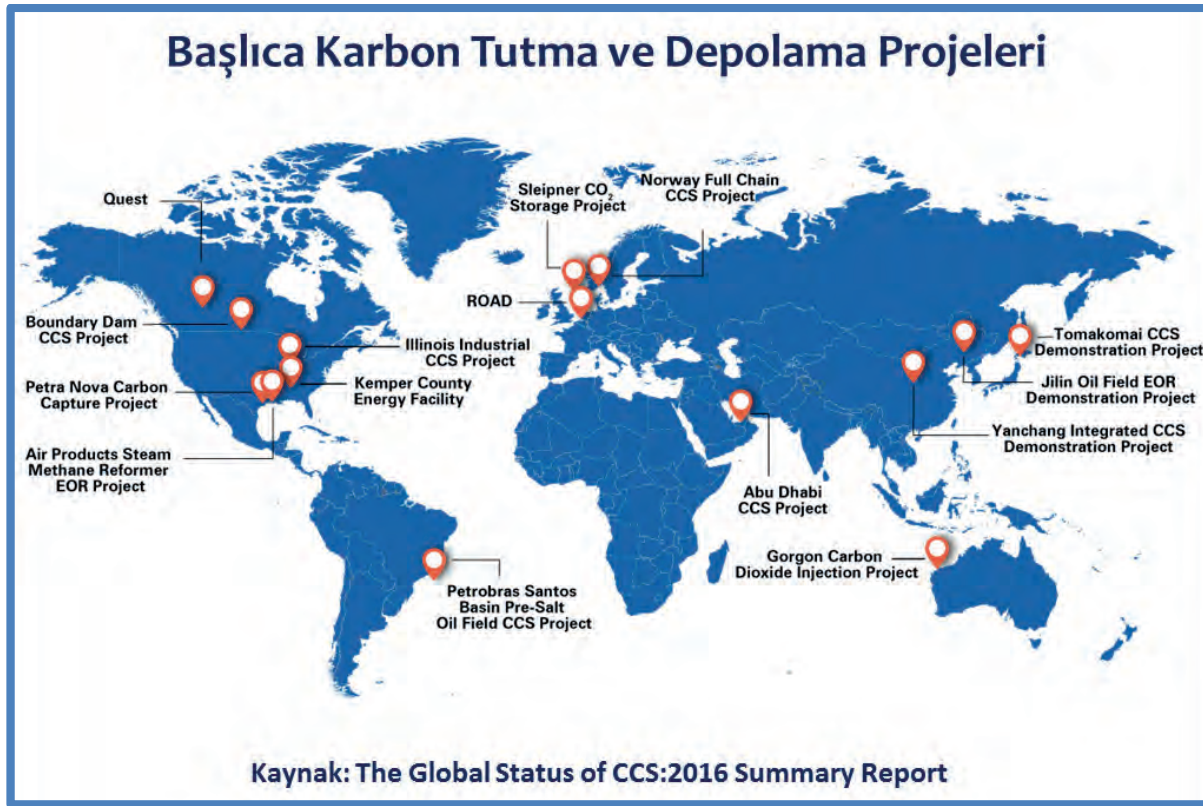
**Süperkritik ve Ultra Süperkritik Teknoloji:** Bu teknolojileri kullanan yeni pulverize kömür yakma sistemleri, mevcutlara kıyasla çok daha yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında çalışırlar. Bu sayede de çok daha yüksek verime erişir, çok daha az CO<sub>2</sub> salımı gerçekleştirirler. Süper-kritik buhar çevrim teknolojileri, birçok ülkede uzun süredir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. % 50'ye kadar verimliliğe erişecekleri hesaplanan **ultra süper-kritik** sistemler için araştırma ve geliştirme faaliyetleri sürdürülmektedir. Değişik yakıt tiplerinin karışımının yakılmasına olanak sağlayan bu sistem; biyokütle ve bitümlü şeyl dahil "gelecek vaat eden yakıtların" yakılması imkanını da vermektedir. Bu teknolojinin kullanılması konusunda yol almış olan ülkeler arasında; Danimarka, Almanya, ABD ve Japonya yer almaktadır. Örneğin EnBW tarafından, Karlsruhe-Almanya'da işletilmekte olan 912 MW kapasiteli ultra süper-kritik RDK 8 kömür santrali (Alstom'u satın alan GE tarafından geliştirilen teknolojiyle çalışıyor) % 47.5% net termal verimliliğe ulaşmış durumdadır. Kazan, 600 °C ısıda ve 300 bar basınçta çalışmaktadır. Giderek yerleşmiş ve yaygınlaşmış olan bu teknolojinin daha da geliştirilmesi yönündeki çalışmalar devam etmektedir. Gerek bu yüksek ısıya dayanıklı nikel ve nikel-demir alaşımları üzerindeki çalışmalar; gerek bunların yüksek maliyetlerinin düşürülmesi ve gerekse daha da yüksek ısıya (700 °C ve üzeri) dayanıklı kazanların imaline yönelik olarak sürdürülmektedir.

**Gazlaştırma** ise herhangi bir karbon temelli maddeyi (*kömür, petrol koku, rafineri artıkları, biyokütle, kentsel katı atıklar ve bunların karışımları*) sentetik gaza dönüştüren ve onu yakmadan enerjiye dönüştüren ısı (termal) bir işlemdir<sup>36</sup>. Gazlaştırmanın önemli bir avantajı, klasik yakma tekniklerinde oluşan karbon ayak izinden çok daha az bir kirliliğe neden olmasıdır. Örneğin, bu teknoloji sayesinde, klasik yakma işlemi sırasında, girdi olarak kullanılan yakıttaki cıvanın % 95'inin tutulabilmesi, önemli bir avantajdır.

<sup>36</sup> High efficiency low emission coal, World Coal Association; <https://www.worldcoal.org/reducing-co2-emissions/high-efficiency-low-emission-coal>

**Karbon Tutma ve Depolama (KTD) Teknolojileri:** Elektrik üretiminde ve sanayi proseslerinde açığa çıkan CO<sub>2</sub>'nin, atmosfere yayılmadan önce "tutulması ve depolanması" teknolojisi sayesinde, bu teknolojinin kullanılmadığı durumlarda açığa çıkması beklenen CO<sub>2</sub>'nin % 90'ı tutulabilmektedir<sup>37</sup>. KTD zinciri, üç aşamadan oluşmaktadır: Bunlar; CO<sub>2</sub>'nin tutulması, taşınması ve salımların güvenli bir biçimde depolanması (üretim yapılarak boşaltılmış petrol ya da gaz rezervuarlarına ya da derin, tuzlu akiferler) aşamalarıdır.

Küresel Karbon Tutma ve Depolama Enstitüsü, 2016 yılı raporunda<sup>38</sup>; *işletmede veya inşaat halinde olan, ya da planlama aşamasında*, 38 büyük çaplı KTD projesinin varlığını belirlemiştir. Bunların dışında, pilot proje ya da tanıtım (demonstration) amaçlı ve daha küçük ölçekli KTD projelerin sayısı yüzlerle ifade edilmektedir. Söz konusu projeler, çok sayıda ülkede (Avustralya, Brezilya, Kanada, Çin, Almanya, Japonya, ABD, S. Arabistan, İspanya, vb.) uygulanmaktadır.



(Enstitü'nün 2016 yılı raporu basım aşamasındayken) Dünyada işletme halindeki büyük ölçekli KTD projesi sayısı 15'e, bu projelerin CO<sub>2</sub> tutma kapasitesi ise yıllık 30 milyon tona ulaşmıştır. Tümü ABD'de yer alan 3 büyük proje daha 2017 başlarında devreye alınmış olacaktır. Bunlarla birlikte sayı 18'e tutma kapasitesi ise 35 milyon tona çıkmış olacaktır. 2017 sonundaki hedef ise, (Kanada ve Avustralya projeleriyle) sayıda 21, kapasitede 40 milyon tondur. 2010 yılında büyük ölçekli KTD projelerinin sayısı 10'u bulmuyordu.

2016 yılında ise her ikisi de sanayi sektörüne yönelik olan 2 adet önemli proje (biri büyük ölçekli, diğeri tanıtım amaçlı) devreye girmiştir. Bunlardan 5 Kasım 2016'da devreye giren ve büyük ölçekli olanı (Abu Dabi'deki Emirates Steel Industries KTD Projesi), demir-çelik sanayisine yönelik ilk uygulama olması bakımından önemlidir. Proje'nin bir diğeri önemli

<sup>37</sup> "What is CCS?", Carbon Capture and Storage Association, <http://www.ccsassociation.org/what-is-ccs/>

<sup>38</sup> THE GLOBAL STATUS OF CCS, 2016, SUMMARY REPORT; Global CCS Institute



boyutu, tutulan ve depolanan CO<sub>2</sub>'nin, petrol sahalarında ikincil üretim (Enhanced Oil Recovery) amaçlı kullanılmasıdır. Diğer proje ise Japonya'da (Tomakomai limanındaki) bir hidrojen üretim tesisinden çıkan CO<sub>2</sub>'nin (yıllık 100,000 ton) tutularak, tesise yakın derin bir jeolojik formasyona enjekte edildiği projedir.

Çevre kirliliğine yönelik kaygılar nedeniyle, geleceği belirsiz olan bu stratejik kaynağın, ekosistemi geri dönülmez biçimde tahrip etmeden kullanılabilmesi, özellikle enerjide dışa bağımlı (Türkiye gibi) ülkeler için yaşamsal önemde olduğundan, bu teknolojilerin mevcut ve gelecekteki durumu, stratejik değer taşımaktadır. Diğer fosil yakıtlara göre daha homojen coğrafi dağılımları kadar, rezerv ömürlerinin de yaklaşık 2 kat daha fazla olması, kömürün, üzerinde çok daha fazla AR-GE yapılmasını gerekli kalan özellikleridir. Temel sorun, enerji talebine daha ekonomik olarak yanıt verebilirken, ekosistemi en az sorunla karşı karşıya bırakan teknolojileri geliştirebilip geliştiremeyeceğimiz sorunudur. KTD teknolojileri, kendini kanıtlamış teknolojiler olmakla birlikte, "yüksek maliyet", aşılması gereken önemli bir engel olarak kömür sanayisinin önünde durmaktadır.

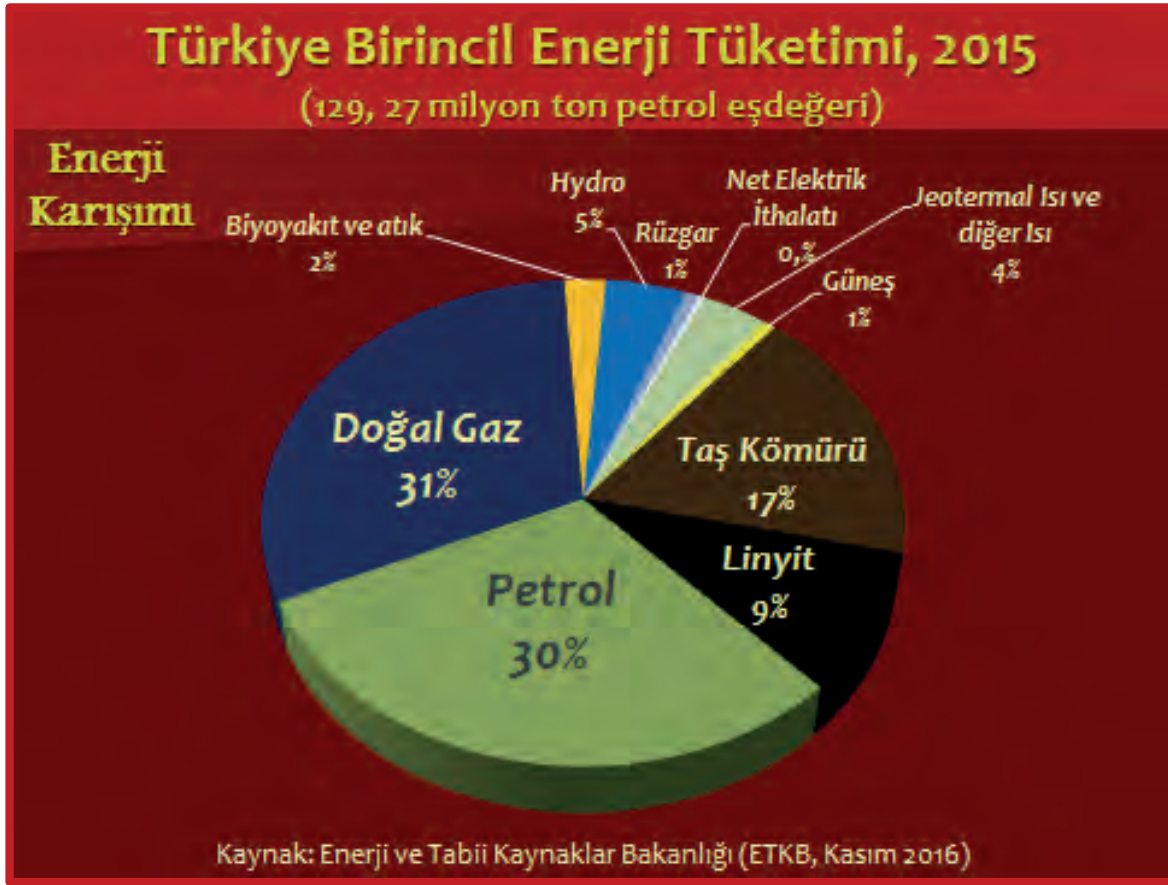
Son dönemde, bu engeli aşma yolunda, bir diğer "tamamlayıcı" seçenek ya da paradigma değişikliği gündemdedir. Bu da KTD yerine, Karbon Tutma ve Kullanma Teknolojisi (KTK) (Carbon Capture and Utilisation ) olarak tanımlanabilecek teknolojilerdir. KTK teknolojisi, karbon tutma işlemi gerçekleştirildikten sonra, CO<sub>2</sub>'nin yer altında depolanması yerine, tutulan CO<sub>2</sub>'nin bir başka amaçla ve katma değer yaratacak biçimde kullanılmasını kapsamaktadır. CO<sub>2</sub>'nin ağır petrol içeren rezervuarlara, üretimi arttırma amaçlı enjeksiyonu (ikincil üretim), bu "kullanma" teknolojilerinin sadece bir örneğidir. Şimdiki mesele, bu teknolojilerin maliyetlerini daha da aşağı çekerek, cazip ve yaygın kılabilme sorunudur. Birleşmiş Milletler Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change); KTD, KTK ve Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim (IGCC) teknolojilerinin, COP22 hedeflerini tutturabilmek için, mevcut ve gereksinimlere uygun olmayan santraller için en gerçekçi seçenekler olduğunu kabul etmektedir. Avrupa Birliği, temiz yakma ve KTD teknolojilerini destekleyen AR-GE çalışmalarına, bu nedenle de önemli fon ayırmaktadır. 2015 Kasım'ında, AB ile OECD ülkeleri arasında imzalanan anlaşma uyarınca, bu tür gelişmiş teknolojiler içermeyen santrallere hükümet desteği verilmeyecektir. Alternatif kaynaklar (yenilenebilir, vb.) açısından da fazla şanslı olmayan ve yoğun biçimde kömür kullanan yeni AB üyesi doğu Avrupa'daki birçok ülkede (Polonya, Romanya, Çek Cumhuriyeti, vb.), bu tür ileri teknolojileri kullanmaksızın, bir anda kömürden vazgeçmek, büyümeyi de kesintiye uğratacak ve ekonomik sorunlara yol açabilecek uygulamalardır. Bu nedenle, söz konusu gelişmiş teknolojilerin maliyetlerinin düşürülebilmesi kritik önemdedir. Kaldı ki kömürden köklü bir vazgeçiş, bu ülkeler açısından Rusya'ya (doğal gaz) daha da fazla bağımlılık anlamına geleceğinden, başlı başına bir sorundur. Örneğin Polonya, 2020'ye kadar, 8 GW'lık bir kapasite açığı ile karşı karşıyadır ve Rus gazı dışında fazla bir seçeneği görünmemektedir.

Hindistan'da Tamil Nadu'daki bir sanayi tesisinde, genç kimyagerlerin geliştirdiği kimyasal yöntemler yardımıyla, karbon dioksitin ayrıştırılması ve tuz ile işlem yaparak, soda külüne dönüştürülmesi, başarılı bir KTK uygulamasıdır.

## KÖMÜR VE TÜRKİYE

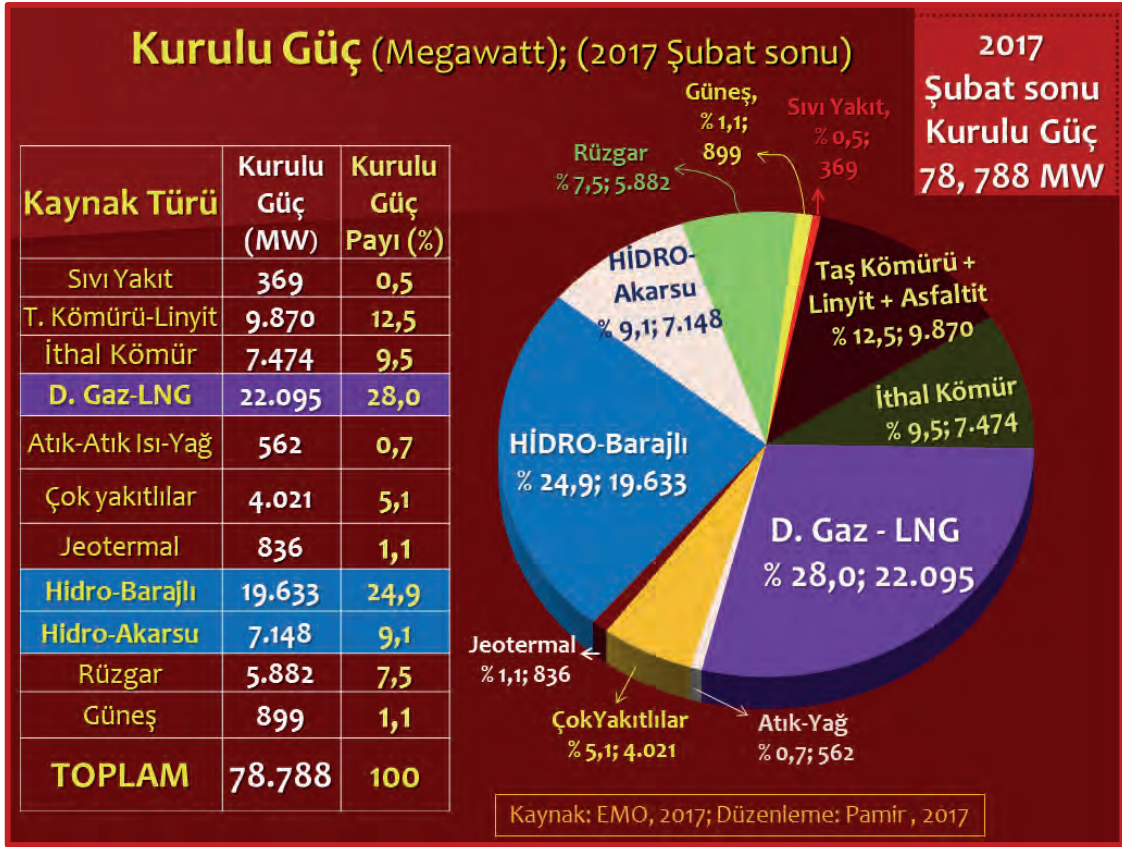
### KÖMÜRÜN ENERJİ TÜKETİMİNDEKİ PAYI

Türkiye, gerek birincil enerji ve gerekse elektrik tüketiminde, önemli oranda kömür (linyit ve taş kömürü) tüketen bir ülkedir. 2015 yılında tüketilen birincil enerjinin, % 17'si taş kömürü, % 9'u linyit olmak üzere, toplam % 26'sı kömürle karşılanmıştır. En çok kullanılan diğer iki kaynaktan, payı % 30 olan petrolde dışa bağımlılık % 93, payı % 31 olan doğal gazda ise % 99'dur. Hemen başta petrol ve doğal gazda yüksek bağımlılığımızın vurgulanmasının temel nedeni; özellikle yerli linyitlerimize uygun temiz yakma teknolojileri, kazan tipi ve tasarım geliştirilebilirse, enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasında, kritik bir adım atılmış olacağına dikkat çekmektir.

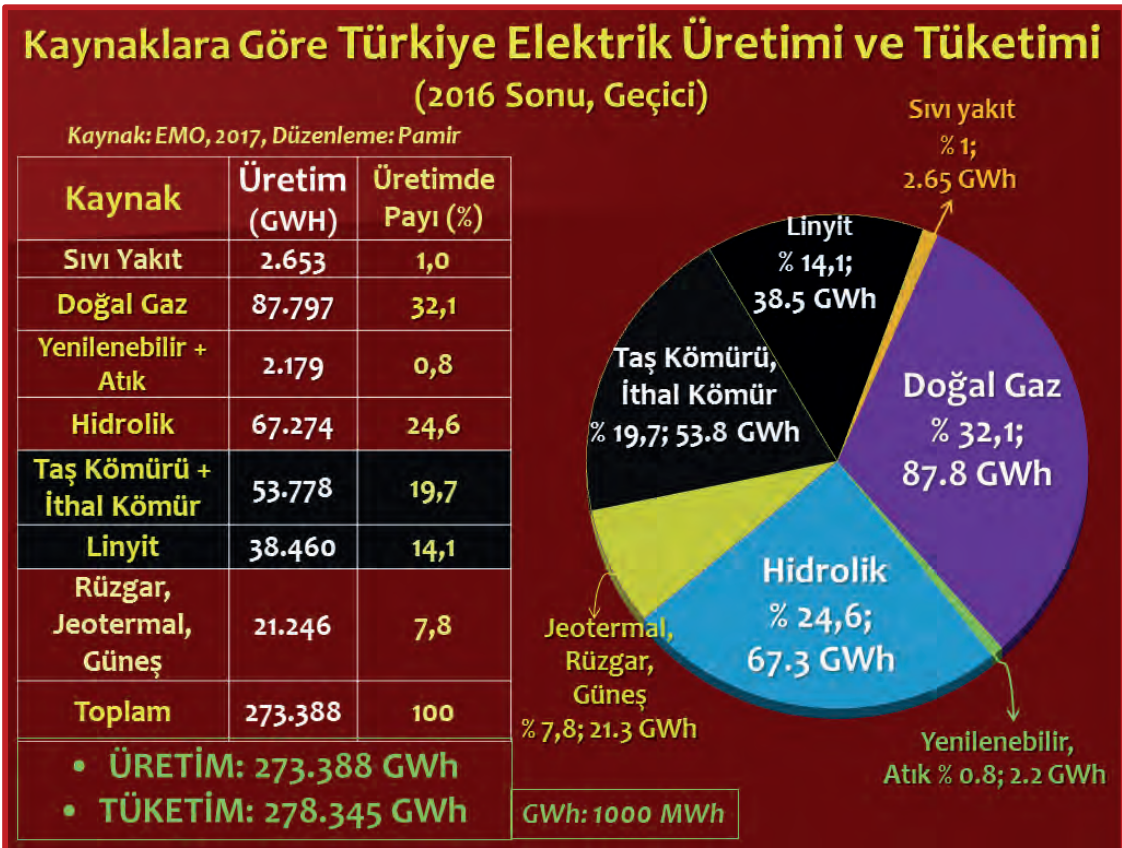


### ELEKTRİK KURULU GÜCÜ VE ÜRETİMİNDE KÖMÜR

Ülkemizin elektrik sektöründe, **kömürün kurulu güçteki payı**, Şubat 2017 sonu itibarı ile (toplam) % 22'dir. Bunun % 9,5'lik bölümü ithal kömür, geri kalan % 12,5'lik kısmı ise ağırlıklı linyit olmak üzere, yerli taş kömürü ve asfaltittir.



Elektrik üretiminde kömürün payı ise, Şubat 2017 sonunda (toplam) % 34.8 olarak gerçekleşmiştir. Bu toplamın % 18.8'lik kısmı ithal kömürden karşılanmıştır.



## TÜRKİYE KÖMÜR REZERVLERİ

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB web sayfası) verilerine göre, dünya linyit rezervinin yaklaşık %1,6'sı ülkemizde bulunmaktadır. Linyit rezervlerinin 2005 öncesi

toplamı 8,3 Milyar ton olarak verilirken, 2005 – 2012 arasında yapıldığı öne sürülen yeni rezervlerle (7,38 Milyar ton) birlikte, **linyit rezervleri toplamının yaklaşık 15,7 milyar ton** olduğu belirtilmektedir. Linyitlerimizin büyük kısmının ısı değeri düşük olduğundan, termik santrallerde kullanımı ön plana çıkmıştır. Ülkemiz linyit rezervinin yaklaşık %46'sı Afşin-Elbistan havzasında bulunmaktadır. Yeni keşifler arasında ise en büyük rezerv olarak Karapınar-Ayrancı (1,832 Milyar ton) öne çıkmaktadır. Ancak yüksek nem oranlı, kükürt oranı fazla ve ısı değeri (çoğunlukla) düşük yerli linyitlerimizin, “rezerv” tanımı konusunda da ciddi tereddütler vardır. Örneğin, kömür konusunda ülkemizdeki en yetkin isimlerden olan (ve ETKB Stratejik Raporları'nın Koordinatörlüğünü de yapan) Dr. Nejat Tamzok, “rezerv” yerine “kaynak” demenin, daha yerinde olacağını açıklamaktadır. Tamzok'a göre, “... bu kaynağın tamamı işletilebilir nitelikte değildir. Yaklaşık yüzde 80'i toplam 8 adet havzada bulunan bu kömürlerin ne kadarının işletilebilir olduğu bilgisi, *detay fizibilite raporlarıyla* kesin olarak ortaya konulamamıştır. Hedefin gerçekleştirilebilmesi bakımından son derece önemli olan bu konuda yıllardır yeterli mesafenin alınamamış olmasını kayda geçirmekte yarar var.” demektedir. Tamzok devamla, “her ne kadar kesin işletilebilir rezerv bilgisine sahip değilsek de, elimizdeki kaynağın besleyebileceği santral kapasitesinin kabaca 17 bin megavat büyüklüğünde olacağını söyleyebiliriz” şeklinde yorum yapmaktadır. TKİ Genel Müdürlüğü (2015 yılı faaliyet) raporlarında ise, “2023 hedeflerine ulaşabilmek için, mevcut kapasiteye ek olarak 20 bin MW'ın üzerinde ek kapasiteye ihtiyaç duyulmaktadır” ifadesi yer almaktadır.<sup>39</sup>

Söz konusu potansiyel kapasitenin (elektrik üretimi için), sahalar bazındaki dağılımı için yapılan en güncel öngörüler, Jeofizik Yüksek Mühendisi Çetin Koçak'ın hazırladığı ve TMMOB Makine Mühendisleri Odası 2016 yılı raporlarında yer almaktadır.

<b>Türkiye Üretilebilir Kömür Rezervlerinin Elektrik Üretim Potansiyeli</b>			
SAHA ADI	TOPLAM REZERV (MİLYON TON)	ÜRETİLEBİLİR REZERV (MİLYON TON)	YAPILABİLİR K. GÜÇ (MW)
Afşin-Elbistan	4.360	4.350	7.205
Afşin-Elbistan	515	490	1.250
Adana-Tufanbeyli	423	350	1.050
Adıyaman-Gölbasi	51	46	150
Ankara-Çayırhan	308	190	500
Bingöl-Karlıova	89	28	100
Bolu-Göynük	38	36	65
Bursa-Orhaneli,Keles,Dav	116	70	270
Çankırı-Orta	70	65	135
Konya-İlgin	143	125	500
Konya-Karapınar*	1.883	1.275	3.500
Kütahya-Tunçbilek**	269	170	450
Kütahya-Seyitömer	176	172	150
Manisa-Soma**	752	575	1050
Tekirdağ-Saray	129	40	175
Şırnak-Asfaltit	72	65	540
<b>LİNYİT, AS. TOPLAMI</b>	<b>9.982</b>	<b>8.498</b>	<b>17.090</b>
Bartın-Amasra**	407	125	1.100
Zonguldak**	909	197	-
<b>TAŞKÖMÜR TOPLAMI</b>	<b>1.316</b>	<b>322</b>	<b>1.100</b>
<b>GENEL TOPLAM</b>	<b>11.298</b>	<b>8.820</b>	<b>18.190</b>

Hazırlayan: Çetin Koçak; Aktaran: TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Oğuz Türkyılmaz

<sup>39</sup> TKİ 2015 Yılı Faaliyet Raporu

Ülkemizin en önemli **taşkömürü rezervleri** ise Zonguldak ve civarındadır. Zonguldak Havzası'ndaki toplam taşkömürü rezervi 1,322 milyar ton, buna karşılık görünür rezerv ise 519 milyon ton düzeyinde bulunmaktadır. TTK 2015 yılı Sektör Raporu'na göre bu toplamın 504 milyon tonu görünür, 425 milyon tonu muhtemel, 370 milyon tonu mümkün olarak tanımlanırken, hazır olan kısmı ise 7.5 milyon tondur.

Linyit sahaları ülkemizde bütün bölgelere yayılmış olup, ısı değerleri 1000-5000 kcal/kg arasında değişmektedir. Ülkemizdeki toplam linyit rezervinin yaklaşık %68'i düşük kalorili olup %23,5'i 2000-3000 kcal/kg arasında, %5,1'i 3000-4000 kcal/kg arasında, %3,4'ü 4000 kcal/kg üzerinde ısı değerindedir.

## **KÖMÜR ÜRETİM VE TÜKETİMİ**

2015 yılında 129,3 Milyon Ton Eşdeğer Petrol (MTEP) olan ülkemizin toplam birincil enerji tüketiminde kömürün payı %26.2'dir . Bunun % 17.3'ü taş kömürü, % 8.9'u linyittir. Taş kömürünün tamamına yakını (% 16.9) ithal kömürdür.

ETKB verilerine göre; 2015 yılında ülkemizde üretilen linyit miktarı 56.12 milyon ton, taş kömürü miktarı ise 1.4 milyon ton olmuştur. Bunların dışında ise 857 bin ton asfaltit üretimi gerçekleştirilmiştir.

**Linyit üretimleri**, özellikle 1970'li yılların başlarından itibaren, petrol krizlerine bağlı olarak elektrik üretimine yönelik linyit işletmeleri yatırımlarının başlaması ile hızlanmıştır. 1970 yılında 5.8 milyon ton olan linyit üretimi, 1998 yılında yaklaşık 65 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Ancak, bu tarihten itibaren, özellikle doğal gaz alım anlaşmaları nedeniyle linyit üretimi sürekli azalmış; 2004 yılında 43.7 milyon ton ile en düşük seviyesini görmüştür. Bu tarihten sonra tekrar yükselen linyit üretimleri, 2008 yılında 76 milyon tonu görmüş, ancak daha sonra tekrar gerileyerek 2013 yılında 57.5 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2014 yılı linyit üretimi ise bir önceki yıla göre % 8,9 artarak 62,6 milyon ton olmuştur<sup>40</sup>. **2015 yılında ise daha da gerileyerek, 56.12 milyon tona düşmüştür<sup>41</sup>.**

**Yerli taş kömürünün, Türkiye birincil enerji arzına olan katkısı 2015 yılı itibarıyla, binde 6,8 düzeyine kadar gerilemiştir.** Ciddi bir maliyet baskısı altında olan ve ithal kömür rekabeti karşısında bıçak sırtında çalışan işletmelerin maliyetleri, son yasal düzenlemeler neticesinde sürdürülebilir olmaktan tamamen çıkmıştır. Artan maliyetler nedeniyle, 2014'de 1.83 milyon ton olan taşkömürü üretimi, 2015 yılında 1.44 milyon tona düşmüştür. Zonguldak Havzası'ndaki taşkömürlerinin ruhsatı, TTK'ya aittir. TTK tarafından redevans karşılığı özel firmalara kömür üretirme uygulaması, 2004 yılında yasal dayanağa kavuşturulmuş olsa da, ÜRETİMLERİ 1989 yılında başlamıştır. **2014 yılında özel sektör tarafından üretilen taşkömürü, toplam üretimin yaklaşık % 28,6'sı oranındadır.**<sup>42</sup>

## **KÖMÜR İTHALATI**

Ülkemizde 1980'li yıllardan önce son derece düşük miktarlarda başlayan kömür ithalatı, 1990'lı yıllarda 10 milyon tonun ve 2000'li yıllarda ise 20 milyon tonun üzerine çıkmıştır. Kömür ithalatındaki artış oranı 2004-2014 arasındaki on yılda % 79 ve son yirmi yılda ise % 291 oranındadır. 2012 yılında kömür ithalatımız bir önceki yıla göre yaklaşık % 23 artış

<sup>40</sup> Türkiye'nin Enerji Görünümü 2016, TMMOB Makine Mühendisleri Odası raporu, Kömür bölümü; Hazırlayan: Dr. Nejat Tamzok

<sup>41</sup> Genel Enerji Denge Tablosu – 2015, ETKB, (Yayın tarihi: Kasım 2016)

<sup>42</sup> Türkiye'nin Enerji Görünümü 2016, TMMOB Makine Mühendisleri Odası raporu, Kömür bölümü; Hazırlayan: Dr. Nejat Tamzok

göstererek 29,6 milyon ton düzeyine yükselmiş, 2013 yılında ise bir önceki yıla göre % 8,4 azalarak 27,2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2014 yılı kömür ithalatı % 11 artışla 30,2 milyon ton olmuştur. **2015 yılı kömür ithalatı ise yaklaşık 34,6 milyon ton düzeyindedir.**<sup>43</sup>

İthal edilen kömür, ağırlıklı olarak **taş kömürü** (2015 yılında 33,98 milyon ton), kalanı ise koktur.

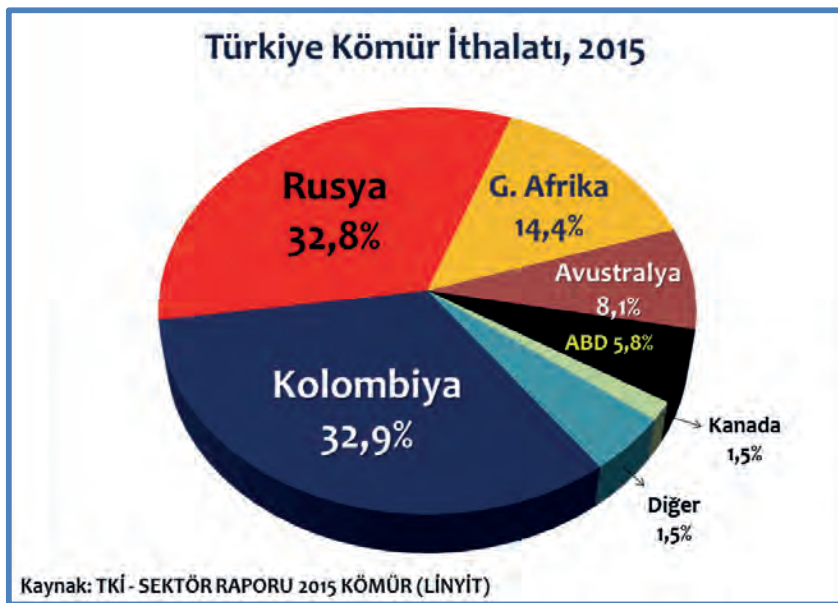
### KÖMÜR ÜRETİM VE İTHALATI (2013-2015)

Yıllar	LİNYİT	TAŞ KÖMÜRÜ	
	Üretim (Bin ton)	Üretim (Bin ton)	İthalat (Bin ton)
2013	57.525	1.963	26.633
2014	62.573	1.833	29.816
2015	56.122	1.435	33.979

Kaynak: Genel Enerji Denge Tablosu – 2015, ETKB, (Yayın tarihi: Kasım 2016)

Daha önce de belirttiğimiz gibi, Türkiye birincil enerji tüketiminde, doğal gaz ve petrolün toplam payları % 61'dir. Eklenmesi gereken husus; petrolde % 93, doğal gazda % 99 oranındaki dışa bağımlılıktır. Bu bağımlılık, ekonomik olduğu kadar, dış politika ve güvenlik açısından da risk yaratan bir unsurdur. Son yıllarda ise, bu olumsuz tabloya, artan miktarlarda kömür ithalatının da girmiş olması, söz konusu riskleri arttıran bir etkidir. Özellikle az sayıda ülkeye yüksek orandaki bağımlılık, dış politikadaki uygulamalar dikkate alındığında, durum daha da riskli hale gelmektedir. Örneğin, doğal gaz ithalatında (2016 yılında) % 53 olan Rusya'ya bağımlılık, petrol ve petrol ürünlerindeki % 17'lik bağımlılık, kömürdeki % 32,8'lik bağımlılık ve (faaliyetleri devam eden Akkuyu Nükleer Santrali de gerçekleşirse) nükleerdeki % 100 bağımlılık, enerji güvenliğimiz ve genel güvenliğimiz açısından çok ciddi bir risk unsurudur.

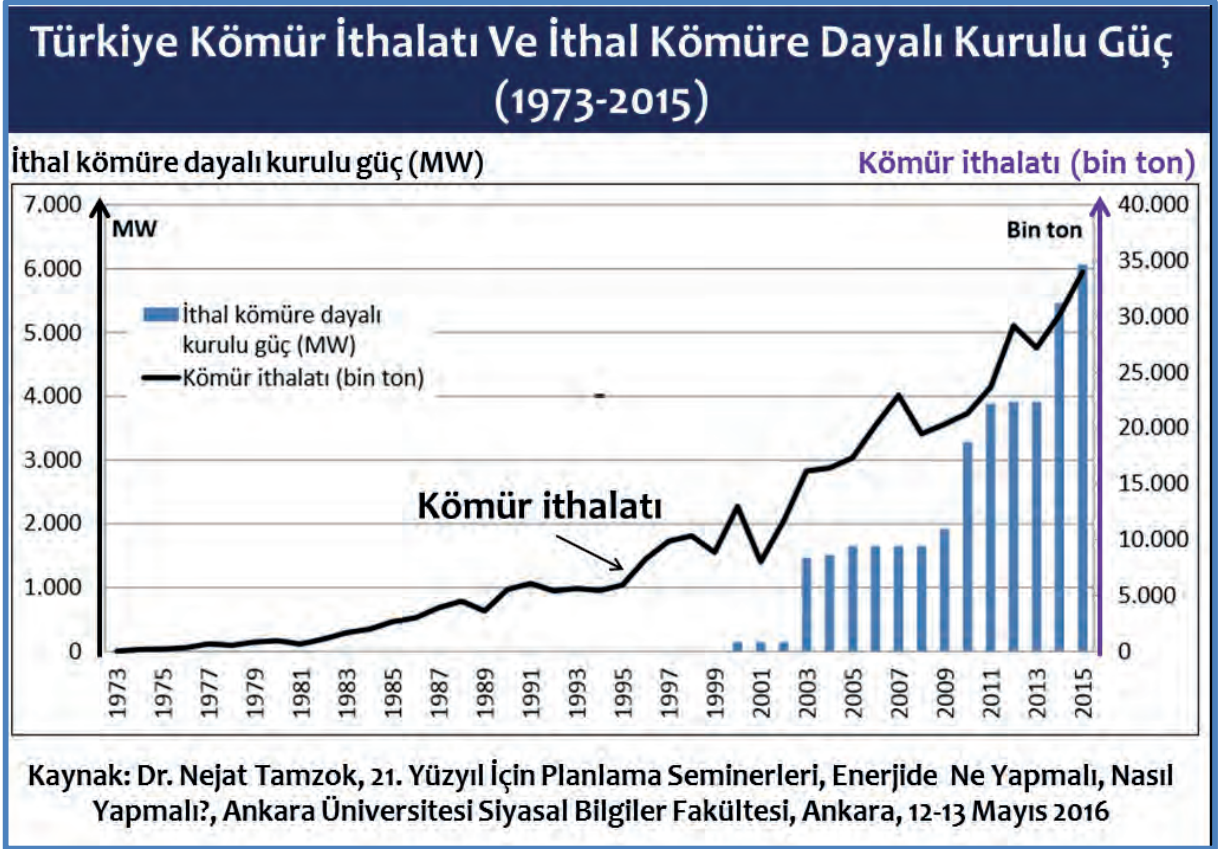
Kömür (Taş kömürü) ithalatının, ülkelere göre dağılımı, aşağıdaki şekilde görülmektedir.



<sup>43</sup> Genel Enerji Denge Tablosu – 2015, ETKB, (Yayın tarihi: Kasım 2016)

En fazla miktarda ithalat yapılan iki ülke, Rusya Federasyonu ve Kolombiya'dır. Onları Güney Afrika ve Avustralya izlemektedir.

Türkiye'nin son yıllarda hızla artan kömür ithalatı ve ithal kömüre dayalı elektrik kurulu güç gelişimi aşağıdaki şekilde görülmektedir.



## ÜLKEMİZ KÖMÜR ENDÜSTRİSİNDE ÖZELLEŞTİRMELER VE YAPISAL DÖNÜŞÜM

Son yıllarda, Türkiye kömür sektöründe, hızlı bir özelleştirme süreci ve buna bağlı olarak da yapısal bir dönüşüm yaşanmaktadır. Bu dönüşüm, bir yandan *işletme hakkı devirleri*, diğer yandan ise kömür üretiminde, *redevans veya hizmet alımı* yöntemleriyle sürdürülmektedir. Kamu kuruluşları, üretim ya da dekapaj faaliyetlerinde, kendi makine parkları ve personeliyle faaliyetleri sürdürmek yerine, giderek daha fazla oranlarda özel sektörden hizmet alma yolunu tercih etmektedirler. Sektörde, kamudan özel sektöre, çok hızlı diye tanımlanabilecek *mülkiyet transferleri* sürdürülmektedir. TKİ'nin toplam linyit üretimindeki payı, 20 yıl önce % 85 civarındayken 2015 yılı itibarıyla % 25 civarına kadar gerilemiştir. Kömür sektörüne 1989 yılında giren EÜAŞ'ın payı ise bir ara % 50'ler düzeyine kadar yükselmişken; son yıllardaki özelleştirmeler ve üretim aksamaları nedeniyle, 2015 yılında % 20'lere kadar düşmüştür.<sup>44</sup> EÜAŞ'ın kömür sektöründe yükselmesi, linyit üretim işletmelerinin TKİ'den EÜAŞ'a devredilmesi yoluyla gerçekleşmiştir. Bu kapsamda; 1989 yılında Sivas-Kangal Linyitleri İşletmesi, 1995 yılında Afşin-Elbistan Linyitleri İşletmesi, 2000 yılında Çayırhan'daki Orta Anadolu Linyitleri İşletmesi TKİ'den alınarak EÜAŞ'a

<sup>44</sup> Türkiye'nin Enerji Görünümü 2016, TMMOB Makine Mühendisleri Odası raporu, Kömür bölümü; Hazırlayan: Dr. Nejat Tamzok

devredilmiştir. Son özelleştirme sürecinde ise TKİ'nin Milas, Yatağan ve Orhaneli'ndeki linyit sahaları özelleştirilmek amacıyla, EÜAŞ'ın bağlı ortaklıkları YEAS, KEAS ve SEAS'a transfer edilmiştir.

Nitekim benzer süreç, elektrik sektörünün genelinde de yaşanmaktadır. 2002 yılında, Türkiye kurulu gücünün % 66,1'i, üretiminin ise % 59,9'i kamu tarafından gerçekleştirilmekteydi. 2015 yılında ise kamunun payı, kurulu güçte % 27,8'e, üretimdeki payı ise % 21,3'e gerilemiştir.

Sektördeki özelleştirme yöntemlerini, Dr. Nejat Tamzok, 12-13 Mayıs 2016'da gerçekleştirilen "Enerjide Ne Yapmalı, Nasıl Yapmalı?" başlıklı seminerde yaptığı sunumda, bu yöntem dahil diğer 2 yöntemi de aşağıda paylaştığımız 3 tabloda ve santraller bazında özetlemiştir.

<b>TERMİK SANTRAL VE KÖMÜR SAHALARININ ÖZELLEŞTİRİLMESİ</b>						
<b>Özelleştirme yöntemi: Santralin blok satışı + kömür sahasının işletme hakkının devri</b>						
Santral	Yakıt	Santral Kapasitesi (MW)	Kömür Rezervi (Mton)	Mülkiyet	Maden Ruhsatı	Özelleştirme Tarihi
Seyitömer	Linyit	600	170	Özelleşti	Özel	Haziran 2013
Yatağan	Linyit	630	150	Özelleşti	Özel	Mayıs 2014
Yeniköy	Linyit	420	250	Özelleşti	Özel	Nisan 2014
Kemerköy	Linyit	630		Özelleşti	Özel	
Kangal	Linyit	457	90	Özelleşti	Özel	Ağustos 2013
Çatalağzı	Taşkömürü	300		Özelleşti	TTK	Mayıs 2014
Soma	Linyit	990	720	Özelleşti	TKİ	Aralık 2014
Çanakkale Çan	Linyit	320	75	EÜAŞ	TKİ	2014 - 2015
Orhaneli	Linyit	210	35	Özelleşti	Özel	Aralık 2014
Tunçbilek B	Linyit	300	250	Özelleşti	TKİ	Aralık 2014

Kaynak: Dr. Nejat Tamzok, 21. Yüzyıl İçin Planlama Seminerleri, Enerjide Ne Yapmalı, Nasıl Yapmalı?, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi, Ankara, 12-13 Mayıs 2016



## TERMİK SANTRAL VE KÖMÜR SAHALARININ ÖZELLEŞTİRİLMESİ

### Özelleştirme yöntemi: Belirsiz

Santral	Yakıt	Santral Kapasitesi (MW)	Kömür Rezervi (Mton)	Mülkiyet	Maden Ruhsatı
Afşin-Elbistan A	Linyit	1355	4.800	EÜAŞ	EÜAŞ
Afşin-Elbistan B	Linyit	1440			
Konya Karapınar	Linyit		1.800	EÜAŞ	EÜAŞ
Afyon-Dinar	Linyit		940	EÜAŞ	EÜAŞ
Eskişehir-Alpu	Linyit		1.700	EÜAŞ	TKİ
Çayırhan Havzası	Linyit		420		

Kaynak: Dr. Nejat Tamzok, 21. Yüzyıl İçin Planlama Seminerleri, Enerjide Ne Yapmalı, Nasıl Yapmalı?, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi, Ankara, 12-13 Mayıs 2016

## TERMİK SANTRAL VE KÖMÜR SAHALARININ ÖZELLEŞTİRİLMESİ

### Özelleştirme yöntemi: Redevans

Santral	Yakıt	Santral Kapasitesi (MW)	Kömür Rezervi (Mton)	Elektrik Üretimi Başlangıç Tarihi (Taahhüt)
AdanaTufanbeyli	Linyit	700	323	2018
Bingöl Karlıova	Linyit	150	104	2019
Bolu Göynük	Linyit	270	38	2015
Bursa Orhaneli, Keles, Davutlar	Linyit	270	106	2018
Manisa Soma	Linyit	450	720	2018
Kütahya Tunçbilek	Linyit	300	262	2019
Eskişehir-Mihalıççık	Linyit	290	130	2014

Kaynak: Dr. Nejat Tamzok, 21. Yüzyıl İçin Planlama Seminerleri, Enerjide Ne Yapmalı, Nasıl Yapmalı?, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi, Ankara, 12-13 Mayıs 2016

Ancak bu yöntemlerin;

- Verimlilik artışı,
- Maliyet ve fiyat düşüşleri,
- Çevre kirliliğini azaltması,
- Ülke kömürlerinin özelliklerine en uygun teknolojileri sağlayıp sağlamadığı,
- Kanayan bir yara halindeki iş güvenliği ve iş sağlığı sorunlarına deva olup olmadığı ve
- Gerçekten enerjide daha az bağımlı olmamıza katkı sağlayıp sağlamadığı sorularına olumlu bir yanıt verebilmek, pek mümkün görünmemektedir.

Ülkemizin linyit rezervlerinin düşük ısıl değeri, yüksek nem ve kükürt oranı dikkate alınmaksızın yapılan devirler ve hazırlanan yetersiz şartnameler, beklenen yararların teminini daha baştan olanaksız kılan nedenlerin başında gelmektedir.

Bugüne kadarki uygulamaların getirdiği en somut “yenilik”, bu yöntemler sayesinde santrallere sahip olan ya da işletmesini devralan şirketlerin teşvik, alım ve fiyat garantisi talepleri olmuştur.<sup>45</sup>

Ayrıca, bu uygulamaların, çok sayıda sakıncalı yanı ortaya çıkmaktadır. Kamu şirketlerine kömür işletmeciliğinden el çekilirken, bu işlevi “devir alan” firmaların büyük çoğunluğu, gerek sermaye ve gerekse teknik birikim bakımından son derece yetersiz firmalardır ve kömür madenciliği gibi özel bir alanda başarılı olamamaktadır. İnsan kaynağına, aramaya, AR-GE’ye, iş güvenliğine ve çevre korumaya yönelik yatırımları asgari düzeydedir ve bunlar genellikle maliyet arttırıcı unsurlar olarak görülmektedir. Mühendislik kalitesi ve etüt-proje deneyim ve yetenekleri sınırlıdır.

## **YERLİ KÖMÜR KAYNAKLARI ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANILMALI MI?**

Enerjide dışa bağımlılığı, çok yönlü bir sorun halinde olan Türkiye, ciddi miktarda linyit rezervlerine sahiptir. Sektörün deneyimli uzmanları, henüz ülkemizin kömür aramacılığı bakımından yeterince aranmadığını ve ilave potansiyel taşıdığını da belirtmektedirler. Ancak bir yandan da (daha önce de belirttiğimiz gibi) ısı değeri oldukça düşük, nem, kül ve kükürt oranı yüksek linyitlerimizin elektrik üretiminde kullanımı mutlaka özgün bir modelin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Dünyada ve (geç te olsa) ülkemizde de hızla artan çevre bilinci de bu tür kömür kullanımını çok daha zor hale getirmektedir.

Linyit kaynaklarımızın büyük bölümü Kangal’dan güneye; önce Afşin-Elbistan’a, sonra Adana-Tufanbeyli’ye uzanan, oradan Konya-Karapınar, Afyon-Dinar ve Eskişehir’e kıvrılan bir yay üzerindedir. Bu grup linyitler düşük kalorili, kül ve nem oranı yüksek linyitlerdir ve yalnız elektrik üretimi için değerlendirmeye uygundur. Son yıllarda yeni sondajlarla hızla artan potansiyel rezerv rakamları ise sorunludur ve ciddi bilimsel çalışmalarla güncellenmesi ve teyit edilmesi gerekmektedir.

İklim değişikliğinde önemli ve olumsuz etkisi olan fosil yakıtların, enerji arzındaki paylarının azaltılması konusunda, uluslararası ölçekte bir görüş birliğine doğru adımlar atılmakla birlikte, sağlandığı öne sürülen mutabakatların uygulanabilirliği tartışmalıdır. Birçok gelişmiş ülke halen elektrik üretiminin kayda değer bir bölümünü kömüre dayalı santrallarla karşılarken, başta Hindistan olmak üzere birçok ülke bu türden yeni santrallar inşa etmektedir.<sup>46</sup>

Uzunca bir süre yakıt fiyatının ucuz, santral tesis süresinin kısa ve yatırım bedellerinin çok yüksek olmaması nedeniyle, ülkemizde doğal gaz dayalı elektrik santral projeleri ağırlık kazanmış ve linyit potansiyeli yeterince harekete geçirilememiştir. İktidarlar, (daha önce de belirttiğimiz gibi) büyük sahaları uluslararası anlaşmalarla yabancı yatırımcılara toptan devretme ya da sahaları yüksek alım garantili fiyatlarla özel yatırımcılara santral kurulması için tahsis diye özetlenebilecek uygulamalara yönelmişlerdir. Mevcut iktidarın, bu alandaki politikasının diğer bileşeni de, kalan sahalardan özel sektöre açılması ve rödovans usulüyle elektrik üretimi amacı ile santral kurulması için TKİ tarafından ihale edilmesidir. Bu politika

<sup>45</sup> Türkiye’nin Enerji Görünümü 2016, TMMOB Makine Mühendisleri Odası raporu, Kömür bölümü; Hazırlayan: Dr. Nejat Tamzok

<sup>46</sup> Türkiye’nin Enerji Görünümü 2016, Oğuz Türkyılmaz, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Sunumu, Aralık 2016, Bilkent Üniversitesi

da bugüne değin, bir sahanın dışında, sonuç vermemiştir. Sahalarla ilgili teknik, ticari, çevresel konular yeterince araştırılmadan çıkılan ihaleleri üstlenen firmalar da iyice etüt etmeden verdikleri tekliflerle üstlendikleri projeleri sonuçlandıramamıştır. Bugün gelinen son aşamada ise, yüksek elektrik alım fiyatları garantisiyle, kömür sahaların özel şirketlere devredilmesi gündemdedir.

6646 sayılı yasada yapılan bir değişiklikle, **“EÜAŞ ve bağlı ortaklıklarının, varlıklarının veya hisselerinin, yerli kömüre dayalı elektrik üretim amaçlı özelleştirmeleri halinde, özelleştirilecek varlıkların değer tespitinin yapılmayacağı; açılacak ihalelerde, bu varlıklar üzerinde gerçekleştireceği yatırımla, üreteceği elektriği alım garantili olarak devlete satmak için alım garantisi verilecek şirketlerden, elektrik için en düşük fiyatı teklif edene, bedelsiz olarak devredileceği”** hükme bağlanmıştır.

**Olası tepkileri önlemek için, kamu erkinin, değerini sakladığı ve şeffaf biçimde topluma bildirmediği Anayasa’ya göre halka ait varlıkları, “kerametleri kendinden menkul”, kömür madenciliği ve kömüre dayalı elektrik üretimi konusunda hiçbir bilgisi ve deneyimi olmayan şirketlere devretmesi, ülke ve toplum çıkarlarına uygun değildir.**

Dahası; özelleştirilen santrallara, *çevre mevzuatı konusunda yükümlüklerini 2020’ye kadar erteleme olanağı sağlayan* hüküm, benzeri madde daha önce Anayasa Mahkemesi’nce iptal edilmiş olmasına karşın, **“Anayasa Mahkemesi kararlarını tanımama”** mantığıyla, tekrar yasalaştırılmak istenmektedir<sup>47</sup>. Bu tür uygulamalar, Anayasa’ya olduğu gibi, kamu yararına da temelden aykırıdır.

Diğer yandan, Türkiye’ye özgü kömürlerin, bu tür kömüre en uygun ve en verimli teknolojilerle üretilebilmesi için, profesyonelce tasarım yapılması bir zorunluluktur. Kömürlerimize en uygun kazan tipi/yakma modeli/santral tipi ve hava kalitesi modeli belirlemeden yapılan bu tür devirler, kesinlikle uygun değildir. Devir yapılan şirketlere, seçilecek teknoloji, elde edilecek verim, oluşacak çevre kirliliği, hava kalitesi gibi konularda, hiçbir standart belirlenmemesi ve de yaptırım ya da yönlendirme yapılmaması, ne ulusal çıkarlarla ne de kamu yararı ile bağdaşmaktadır. Devir yapılan firmalara, mevcut santrallerin rehabilitasyonu ya da ilave yatırımlar konusunda da bir yaptırım getirilmemiştir. Hindistan ve Fas gibi ülkelerde, bu tür devir işlemlerindeki olmazsa olmaz koşulların başında, asgari verimlilik belirlemesi gelmektedir.

ÇED raporları, diğer kaynaklara yönelik projelerde de olduğu gibi, adeta yasak savma mantığıyla ve göstermelik olarak hazırlanmaktadır. Oysa ÇED raporları, aslında gereği gibi hazırlandığı takdirde, sadece ekosistemi esirgemek açısından değil; en doğru kaynağı seçebilmek, en doğru yeri ve teknolojiyi belirlemek gibi birçok hususta yatırımcıya yöne verecek fizibilite etütleridir. Bizde ise bu raporlar, gereksiz zaman ve para kaybı biçiminde algılanmaktadır. Bugün kamu erkini kullananlar da, ne yazık ki bu konuda, yatırımcıdan daha da “kolaylaştırıcı” davranmaktadır.

<sup>47</sup> Türkiye’nin Enerji Görünümü 2016, Oğuz Türkyılmaz, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Sunumu, Aralık 2016, Bilkent Üniversitesi

## OLUMSUZ ETKİLERİNİ ASGARIYE İNDİRİP, VERİMLİLİĞİ YÜKSEK KÖMÜR SANTRALİ YAPMAYI ÖNGÖRÜYORSAK; NE YAPMALI, NASIL YAPMALI?<sup>48</sup>

Bu konuda yıllardır çalışma yürüten meslek odalarımızın görüş ve birikimlerini, her yıl yayınladıkları “Türkiye’nin Enerji Görünümü” rapor ve sunumlarında toparlayan TMMOB Makine Mühendisleri Odası, üstteki başlık altında bir dizi öneri geliştirmiştir. Bu başlıkları, sektör uzmanlarının diğer önerileriyle harmanlayacak olursak, alttaki bir dizi öneriyi sıralamak mümkün olacaktır:

### Linyit kaynaklarımızın, ulusal çıkarlarımıza ve kamu yararına uygun biçimde değerlendirilmesi için;

- Öncelikle bilimsel ve uluslararası ölçekte kabul edilebilir rezerv tespitinin yapılması,
- Fiziki çevreye olumsuz etkileri asgari düzeye düşürülmüş kömür madenciliği planlaması,
- İş güvenliği ve işçi sağlığına özel ağırlık ve öncelik veren güvenli bir maden işletmeciliği,
- Santraller için *doğru yer seçimi, yerleşim planlaması ve imar düzenlemelerinin* yapılması,
- Santralın yeri konusunda, *yöre halkının rızasının alınması* ve mutlaka o yatırımdan en geniş biçimde yararlanmalarını sağlayacak çözümlerin (*istihdam, daha düşük tarifeli elektrik kullanımı, vb.*) sunulması,
- Santral *tasarımında; verimliliğin azami, çevreye verilen zararın ise asgari düzeyde olmasının hedeflenmesi, bu amaca yönelik ileri teknoloji seçimi*, geliştirilmesi ve uygulanması,
- *Düşük kalorili linyitlerin gazlaştırılarak değerlendirilmesini de hedefleyen* ileri teknoloji geliştirme, uyarılma, uygulama çalışmaları, bu alanda yurt dışında çalışan bilim insanlarının da katılımıyla; ilgili akademik, mesleki, kamu ve özel sektör kuruluşlarının aktif destek ve katkılarıyla, bir “Milli Takım” organizasyonu olarak planlanmalı ve hayata geçirilmesi,
- Geliştirilen ileri teknolojiyle imal edilecek olan *santral ekipmanlarının, en yüksek oranda yurt içinde, yerli kuruluşlar eliyle, tasarımı, imalatı, tesisi*,
- Bunun için, kamunun teşvik ve yönlendirmesiyle; kamu-özel sektör-üniversite işbirliği çerçevesinde çalışmaların yapılması,
- Üretilecek elektriğin ulusal iletim şebekesine aktarılması da dahil tüm uygulamaların; kurgulanmasını, planlanmasını ve ilgili ve yetkili kuruluşlar eliyle gerçekleştirilmesini öngören bir *Kömür Strateji Belgesi, Eylem Planı ve Yol Haritası’nın, Enerji ve Kalkınma Bakanlıkları’nın koordinasyonunda, ilgili tüm kuruluşların katılımlarıyla, katılımcı ve demokratik bir anlayışla hazırlanması sağlanmalıdır.*
- *Yeni ithal kömür santral projelerine izin verilmemeli, lisans almış olan projelerden, yükümlülüklerini yerine getirmeyenlerin lisansları iptal edilmelidir.*
- Mevcut ve yatırım sürecindeki kömür yakıtlı santrallara, yasal hilelerle gerçekleştirmeye çalıştıkları; “çevreyi kirletme ve kirletmeye devam etme hakkı!” kesinlikle tanınmamalı ve elektro-filtre, baca gazı arıtma (kükürten arındırma, azot oksit giderme) vb. yatırımlarını çok ivedi olarak yapmaları ve bu sistemleri etkin ve verimli bir şekilde çalıştırmaları sağlanmalıdır. Bu yatırımlar yeni projeler için de zorunlu olmalıdır.

<sup>48</sup> Türkiye’nin Enerji Görünümü 2016, Oğuz Türkyılmaz, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Sunumu, Aralık 2016, Bilkent Üniversitesi

- Afşin’de yaşanan türden toprak kayması riskini asgariye indirecek, açık işletmelerde hızlı ve yüksek verimli üretim yöntemlerinin geliştirilmesi için yatırımcı kuruluşlar ve üniversiteler ile işbirliği geliştirilmelidir.
- Kurumların uzmanlık alanları ile ilgili konularda, planlama, değerlendirme, organizasyon, denetim ve doğru karar alma deneyim ve birikimlerine önem verilmelidir.
- **Yerli kömür kaynaklarından elektrik üretiminde yararlanmada, geçmiş dönemlerde yapılan hataların tekrarlanması ve “Havza Planlaması”na dayanmayan anlayışlarda ısrar edilmesi; kaynak kayıplarına, verimsizliğe, iş güvenliği ve çevre sorunlarına yol açacaktır. “Genel Havza Planlaması”, içi boş bir kavram değildir. Kömür havzaları; elektrik üretim tesisleri, kömür madenleri, yöre sanayisi, tarımı, ormanları, su kaynakları, toplumsal-ekonomik durumu bir arada dikkate alınarak bir bütün olarak projelendirilmelidir**<sup>49</sup>.
- Söz konusu havzalarda; yöredeki diğer sanayi sektörleriyle bütünleşik, yörenin toplumsal kalkınması ve yoksulluğun azaltılarak gelir dağılımının düzeltilmesi hedeflerine yönlendirilmiş bir planlama esas olmalıdır.
- Çevre ve iş güvenliği alanlarında “mevcut en iyi standartlar” tatbik edilmelidir.
- Mümkünse bu havzalar, yenilenebilir enerji çeşitlerini de kapsayan enerji havzaları şeklinde tasarımılandırılmalıdır.
- Havza planlamalarının, bu konuda yetkinlik düzeyi yüksek kamu idareleri ve kadrolar vasıtasıyla yapılabileceğinin, ayrıca bilinmesi gerekir. Buna rağmen, havza planlaması yapmak yerine, kömür havzaları içerisindeki sahaların yapay olarak yaratılmış parçalar halinde – kurumsallaşmamış, sermaye yapıları güçsüz bir takım firmalara işlettilirilmesi düşüncesi, telafisi mümkün olmayan olumsuz sonuçlara yol açacaktır. Böylesi bir işletmecilik tercihi, yukarıda değinilen bütünsel planlama anlayışıyla elde edilecek toplumsal yararın oluşumunu engelleyecek olup, sürdürülebilir doğal kaynak yönetimine de tamamen aykırıdır.<sup>50</sup>
- Yakın tarihlerde yaşadığımız Soma ya da Elbistan faciaları, bu tarz işletmecilik anlayışlarının en bariz sonuçlarıdır ve söz konusu facialardan artık bir ders çıkarılmış olması gerekir.
- **Hizmet alımı, rodövans gibi özelleştirme uygulamaları durdurulmalıdır. İşletmeler yeniden TKİ ve TTK eliyle işletilmelidir.** Günümüzde mostra madenciliği giderek azalmakta ve gelecekte derin yer altı madenciliğine doğru bir gidiş yaşanmaktadır. Bu anlamda yeraltı üretim kültürünün yaşatılması büyük önem taşımaktadır. Yer altı üretim kültürünün yaşatılması için bu konuda deneyimli TTK ve TKİ gibi kamu kuruluşlarımızın ayakta kalması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Bu kurumlarımız üretim yaparken aynı zamanda iş güvenliği ve eğitim anlamında okul görevi de görmektedirler. Bu nedenle güçlendirilmeleri için gerekli çalışmalar zaman geçirilmeden yapılmalıdır. Ancak bu kurumların mutlaka gerçek anlamda özerk olarak, katılımcı bir anlayışla yeniden yapılandırılmaları gereklidir.
- Meslek Odalarımızın yıllardır önerdiği doğrultuda; İş Sağlığı ve Güvenliği ile ilgili yasa, tüzük ve yönetmelikler uluslararası sözleşme, standart ve normlar dikkate alarak yenilenmeli ve hayata geçirilmelidir.
- **İş Sağlığı ve İş Güvenliği ile ilgili ulusal politikaların tesisinde etken olması için Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından oluşturulan “İş Güvenliği Konseyi”**

<sup>49</sup> Yerli kömürde hayaller ve gerçekler, Dr. Nejat Tamzok, Enerji Günlüğü, 14 Haziran 2016

<sup>50</sup> Yerli kömürde hayaller ve gerçekler, Dr. Nejat Tamzok, Enerji Günlüğü, 14 Haziran 2016

**yapısında, hükümet ve işveren temsilcilerinin yanı sıra; TMMOB'ye bağlı ilgili meslek odalarının, Türk Tabipler Birliği'nin, Türkiye Barolar Birliği'nin ve ilgili sendikaların da yer almaları sağlanmalıdır.**

- 4857 sayılı İş Yasası ile İş Sağlığı ve Güvenliği uygulamalarında “İş Güvenliği Mühendisliği” yerine, “İş Güvenliği Uzmanı” tanımı getirilerek mühendislik ile teknik elemanlık birbiriyle eşdeğer tutulmuştur. Temelde mühendislik altyapısı, bilgi birikimi ve deneyimi gerektiren iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında mühendis istihdamı, gerek ilgili kanun gerekse yönetmeliklerde yapılacak düzenlemelerle sağlanmalıdır.
- Santral yatırımları için, *toplum yararını gözetecek bir planlama kapsamında*; bünyesinde TKİ'nin, EÜAŞ'ın, yerel yönetimlerin, yerel yönetim birliklerinin, yerel kamu kuruluşlarının, yerel katılımcılarla birlikte kuracağı şirketlerin yer alacağı yeni yatırım modelleri kurgulanmalıdır. Konu, yalnızca bir madencilik/enerji üretimi projesi olarak görülmemeli, *Kömüre Dayalı Kalkınma İdaresi* vb. gibi, yeni bir toplumsal kalkınma atılımını organize edebilecek nitelikte bir kamusal organizasyon öngörülmelidir. Hazırlanacak bilimsel ve nesnel fizibilite raporlarıyla, bünyesindeki kamu varlığı ile *kamunun önderliği ve kamunun yanı sıra yerel kuruluşlar üzerinden yerel halkın da içinde yer alacağı katılımcı ve şeffaf yapısıyla*, büyük enerji yatırımlarına finans bulmak ve gerçekleştirmek böylesi bir kurumla mümkün olabilir.
- ***Hem ön hem de nihai ihalede sadece parasal kriterler değil, aynı zamanda verimlilik, teknolojik seviye ve yerli imalat katkısı gibi kriterler de dikkate alınmalıdır.***<sup>51</sup> “En düşük elektrik fiyatını veren konsorsiyuma, kömür sahalarımızı bedelsiz devrederek; kömürlerimize uygun teknoloji, verimlilik kriteri, salım üst sınırları getirmeyen şartnameler hazırlanması ve sahaların devri, kabul edilebilir bir “çözüm” değildir. İnsan sağlığına ve çevreye olduğu kadar, ulusal çıkarlara ve kamu yararına da aykırı bir uygulamadır.
- Sonuçta kömür, kamu malıdır ve bu kamu malını verimsiz kullanan özelleştirmeler mevcuttur ve kamu malı israf edilmektedir. Bu sebeple, basitçe özel sektörün maksimum kâr için verimliliği de arttıracığı savına güvenilmemelidir. Yeni yapılacak ihalelerde tarife dışında başka açılardan da teklifler değerlendirilmelidir.
- Santral ihalelerinde, ***kömürün satılmayacağı veya mücbir sebepler dışında başka kaynaklardan santrale kömür alınmayacağı şartı getirilmelidir.***

**Ülkemizin linyitleri için en uygun teknolojinin belirlenmesi için, öncelikle bir *pilot (demo) proje* yapılması da yararlı olabilir. Çok düşük kaliteli (1100 kcal/kg) civarı linyit rezervleri için yüksek verimli, yerli katkısı en yüksek seviyede, çevresel etkileri minimize edilmiş, prototip bir CO2 giderme sistemi içeren bir demo tesis; kamu - özel sektör - üniversite işbirliği ile yapılabilir.**

**Bunun için Afşin – Elbistan B santralinin altyapısından faydalanan, örneğin 350 - 400 MWe gücünde, *ULTRA SÜPER KRİTİK AKIŞKAN YATAKLI KAZANA DAYALI BİR DEMO ÜNİTESİ* kurulabilir. Bunun için de *bağımsız bir fizibilite çalışması* yaptırılabilir. Eğer bu “demo” projesi başarılı sonuç verirse, söz konusu uygulama, diğer linyitler için de yaygınlaştırılabilir. Kuşkusuz bu yöntem, bedelsiz devralacağı kömür sahalarımızdan üreteceği elektriği en ucuza satma taahhütü veren ve *hangi***

<sup>51</sup> Dr. Aykan Batu'nun, yerli kömür konusunda paylaştığı özel değerlendirmeler ve öneriler

**teknolojiyi kullanacağı, hangi verimi sağlayacağı, ne boyutta kirlilik yaratacağı “herhangi bir firmaya” iş vermekten çok daha akılcı ve (kamu için) yararlı olacaktır<sup>52</sup>.**

Bu konuda yapılacak tüm çalışmalarda, yalnız santrallerin tekil ve yerli kömüre dayalı elektrik üretiminin toptan ekonomik fizibilitesine ağırlık veren değil; *fayda - maliyet analizi* vb. çalışmalarla, linyite dayalı olarak kurulması öngörülen elektrik santral yatırımlarının, *kümülatif çevresel ve toplumsal etkilerini inceleyecek* ve bu yatırımlarda toplum yararının olup olmadığını nesnel bir şekilde irdelenecek ve belirli kişi, grup ve kuruluşların değil, toplumun yararını gözeterek olan bir bakış açısı olmalıdır. Bu tür kapsamlı çalışmaların sonuçları, linyite dayalı santral projelerinde toplum yararının olduğunu belirlerse, ancak o zaman yatırımların gerçekleşmesi doğrultusunda adımlar atılmalıdır.



**Necdet PAMİR  
Nisan 2017, Ankara**

<sup>52</sup> Dr. Aykan Batu'nun, yerli kömür konusunda paylaştığı özel değerlendirmeler ve öneriler

# Yeraltı Kömür Madenciliğinde Güvenli Üretim Teknikleri *Safe Production Techniques In Underground Coal Mining*

Yusuf Aydın

*Maden Yüksek Mühendisi*

**ÖZET** Ülkemiz enerji talep artışında yerli kaynağın payının artırılması amacıyla linyit sektöründeki yatırımlar hız kazanmakta ve hükümetlerce de teşvik edilmektedir. Öte yandan giderek derinleşmekte olan madenlerimizin işletilmesi, var olan iş güvenliği risklerini arttırmakta ve son yıllarda ağır iş kazalarının yaşanmasına da neden olmaktadır. Gelişmiş ekonomilerde, modern teknolojilerin uygulanması, işçi sağlığı ve iş güvenliği konusunda yapılan düzenlemeler, eğitim faaliyetleri ve güçlü denetim mekanizmaları ile iş kazaları azaltılıp güvenli çalışma koşulları sağlanmaktadır. Ülkemizde de bu yönde çalışmalar olmasına karşın madencilik sektörü halen iş kazaları ve meslek hastalıklarının en fazla görüldüğü tehlikeli iş kollarından biri olmaya devam etmektedir.

Bu çalışmada güvenli madenciliğin; modern teknolojilerin ülkemizdeki madenlerin koşulları dikkate alınarak uygulanması, bu teknoloji ile çalışacak eğitimli iş gücünün sağlanması, işçi sağlığı ve güvenliğine yönelik düzenleme, yaptırımlar ve denetimlerin proje ve işletme aşamalarında yetkin bir denetim organı tarafından yapılması ile sağlanabileceği anlatılmaktadır.

**ABSTRACT** The investments in lignite sector have started to gain momentum and receive government incentives in order to increase the domestic share that covers the rising energy demand in our country. On the other hand, management of the ever deepening mines, increases the existing work safety risks further and causes severe industrial accidents these last years. Throughout the globe, with the implementation of modern technologies in mining practices, development of regulations addressing industrial health and safety, introduction of training activities and sound control systems industrial accidents are reduced and secure working conditions are ensured. Even though similar efforts exist in our country, mining industry is still considered one of the most dangerous lines of business due to frequently occurring industrial accidents and occupational diseases.

In this study, the process of establishing safe mining practices are explained through application of modern technologies considering the state of mines in our country, development of trained work force that can work with this technology, and making sure that all regulations, sanctions and controls are made by competent supervisory groups during both project and execution phases.



## 1 GİRİŞ

Ülkemizin artmakta olan enerji arzında yerli kaynağın payının artırılması amacıyla linyit sektöründeki yatırımlar hız kazanmakta ve hükümetlerce de teşvik edilmektedir. Ülkemizde kömür üretimleri, taşkömürü hariç, linyit sektöründe son yıllara kadar ağırlıklı olarak açık ocak olarak çalışılmıştır. Önümüzdeki yıllarda, üretim faaliyetleri artan oranda yeraltı işletmeciliği ile sürdürülecek ve çalışma derinlikleri de artacaktır. Özellikle derinliklerin artması yeraltı maden işletmeciliği ile ilgili birçok faaliyetin önemini daha da arttırmaktadır.

Güvenli ve verimli madencilik; modern teknolojilerin ülkemizdeki madenlerin koşulları dikkate alınarak uygulanması, bu teknoloji ile çalışacak eğitilmiş iş gücünün sağlanması, işçi sağlığı ve iş güvenliğine yönelik düzenleme ve yaptırımlar ile denetimlerin proje ve işletme aşamalarında yetkin bir denetim grubu tarafından yapılması ile sağlanabilecektir.

## 2 MADENCİLİKTE YAŞANAN İŞ KAZALARINA GENEL BAKIŞ

### 2.1 Dünyada

ABD’de meydana gelen maden kazaları tarihsel açıdan incelendiğinde 1940’lara kadar maden kazalarında ve ölüm sayılarında önemli artışlar meydana geldiği görülmektedir. 1940 – 1950 yılları arasında düşmeye başlayan ölüm oranları, 1950’li yıllardan 1970’lere kadar bir değişim göstermemiştir. Ancak ABD’de hem kaza sayıları hem de ölüm oranlarında 1970’lerden sonra daha keskin bir düşüş meydana gelmiştir. 1940’lı yıllara kadar görülen kazalar ve ölümlerdeki artışlar sonucunda, 1940’tan itibaren kömür madenciliği iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili yasalar çıkarılmış, maden ocaklarındaki sorunlar ve iş güvenliğini tehlikeye sokan durumlar ile ilgili yeni teknolojiler geliştirilmiş ve yaygınlaştırılmıştır. Ülkede 1960 yılından itibaren iş sağlığı ve güvenliği konusunda yapılan çalışmalar hızlandırılmış,

bu gelişmeler ışığında ABD’de ölümlü maden kazalarının oranları özellikle 1970’lerden itibaren hızla düşmüştür. ABD’den sonra dünyanın en önemli kömür üreticilerinden biri olan Çin’de ise hızla gelişen ve büyüyen ekonomi ile birlikte madenlerde meydana gelen kaza sayılarında ve ölümlerde önemli derecede artışlar meydana gelmiştir.

Artan ölüm oranları sonrası Çin Devleti tarafından 2004 yılında maden ocaklarının yenilenmesi kararı alınmış ve 2004 - 2006 döneminde maden ocaklarında yeniden yapılanmaya gidilmiştir. Bu yapılandırma ile küçük, verimsiz ve zarar eden maden ocakları kapatılmış, üretim, modern teknoloji ile donatılmış yüksek performanslı, en az sayıda işgücü ile çalışan büyük işletmelerden sağlanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmaların ardından, 2004 yılından itibaren ülkede maden kazaları sonucu ölüm oranlarında büyük düşüşler meydana gelmiştir. ABD, Avustralya, Güney Afrika ve Çin’de gerçekleştirilen iş sağlığı ve güvenliği konusundaki reformların, ölümlü kaza oranlarında büyük düşüşleri sağladığı görülmektedir.

### 2.2 Ülkemizde

Ülkemizde ise Madencilik sektöründe özellikle kömür madenciliğinde çok sayıda çalışanın ölümü ile sonuçlanan büyük kazalar yaşanmaktadır.

1983 – 2016 yılları arasında meydana gelen büyük maden kazalarında 987 kişi hayatını kaybetmiştir. (Çizelge 1)

### 3 GÜVENLİ MADENCİLİĞİN YAPILABİLMESİNİN KOŞULLARI

Güvenli madencilik yapılmasının şartları esasen üçlü bir sacayağının oluşturulması ile olanaklıdır.

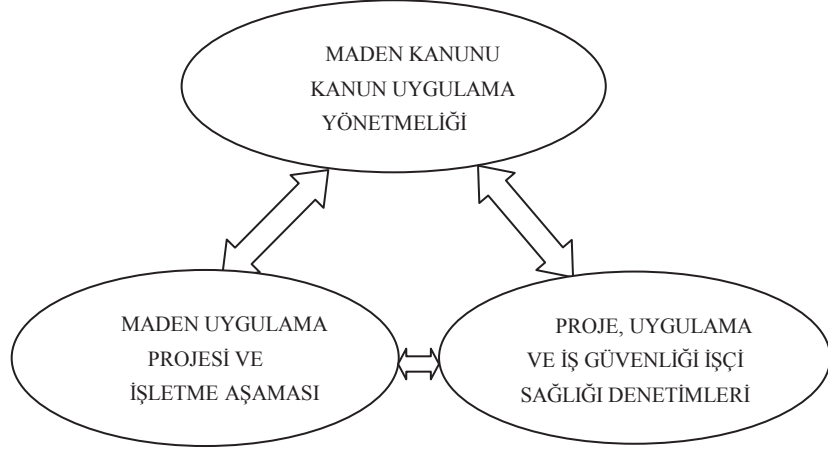
Çizelge 1. Büyük Maden Kazaları

Kaza Yeri	Yıl	Kaza Nedeni	Ölü Sayısı
ZONGULDAK/Armutçuk	1983	Grizu	103
ZONGULDAK/ Kozlu	1983	Grizu	10
AMASYA/Yeni Çelttek	1983	Grizu	5
ZONGULDAK/ Kozlu	1987	Göçük	8
ZONGULDAK/ Amasra	1990	Grizu	5
AMASYA/Yeni Çelttek	1990	Grizu	68
ZONGULDAK/ Kozlu	1992	Grizu	263
YOZGAT/Sorgun	1995	Grizu	37
ERZURUM/ Aşkale	2003	Grizu	8
KARAMAN/Ermenek	2003	Grizu	10
KASTAMONU / Küre	2004	Yangın	19
KÜTAHYA/ Gediz	2005	Grizu	18
BALIKESİR/Dursunbey	2006	Grizu	17
BURSA/M.Kemal Paşa	2009	Grizu	19
BALIKESİR/ Dursunbey	2010	Grizu	13
ZONGULDAK/ Karadon	2010	Grizu	30
ELBİSTAN	2011	Heyelan	11
ZONGULDAK/Kozlu	2013	Grizu	8
MANİSA /Soma	2014	Yangın	301
KONYA/ Ermenek	2014	Su baskını	18
SIİRT/Şırvan	2016	Heyelan	16

Bu kazalar, Kastamonu Küre, Elbistan ve Siirt Şırvan dışında büyük çoğunluğu yer altı işletme yöntemleri ile çalışılan kömür madenlerinde meydana gelmiştir.

Bütün Dünyada büyük madencilik kazalarından hemen sonra madencilik sürdürülebilmesi için önemli, radikal ve sorun yaşanmasının önüne geçecek kararlar alınmış ve tavizsiz uygulanmıştır.

Yukarıdaki tablo, Türkiye'nin de, gecikmiş de olsa, kazaları önleyici radikal kararlar vermesi ve tavizsiz uygulamasının sağlanması gerektiğini açık olarak göstermektedir.



Sacayağının birincisi; batılı standartları esas alacak maden mevzuatının çatı kanun olarak düzenlenmesi ve madencilikle ilgili tüm diğer standart ve kuralların da gene batılı standartlar bazında uygulamaya konulmasıdır. AB yolunda atılacak adımlar bu konudaki işimizi kolaylaştıracak tüm müktesebatımızın AB ile uyumlu hale getirilmesi önemli bir aşama olacaktır.

Bu konuda getirilecek düzenlemeler maden projelerinin hazırlanma ve onay süreçlerini kapsadığı gibi yeraltında kullanılacak tüm ekipman ve teçhizat standartlarının da iş güvenliğini önde tutan bir anlayışla belirlenmesini sağlayacaktır.

Sacayağının ikincisi; iş güvenliğinin planlama aşamasından başladığı gerçeğinden hareketle, tüm teknolojik araştırmalarının tamamlandığı sahalarda iş güvenliğine yönelik tüm unsurların dikkatle planlamaya dahil edildiği bir süreçten geçen maden projelerinin onay mercilerine sunulması ve yetkin uzmanların onayını alan projelerin uygulamaya geçmesine izin verilmesidir.

Şüphesiz projelerin uygulamaya geçilmesinde de aynı titizliğin aranması ve maden şartlarının gerektireceği proje değişikliklerinin de gene aynı yollarla yapılmasına izin verilmesi esas olmalıdır.

Sacayağının üçüncüsü ise; onaylanmış projelere işletme çalışmalarının

uygunluğunun etkin ve yetkin bir denetleme mekanizması kurularak kontrolünün sağlanmasıdır. Bu denetim hem projeye uygunluk hem de iş güvenliği yönlerinden olmalıdır.

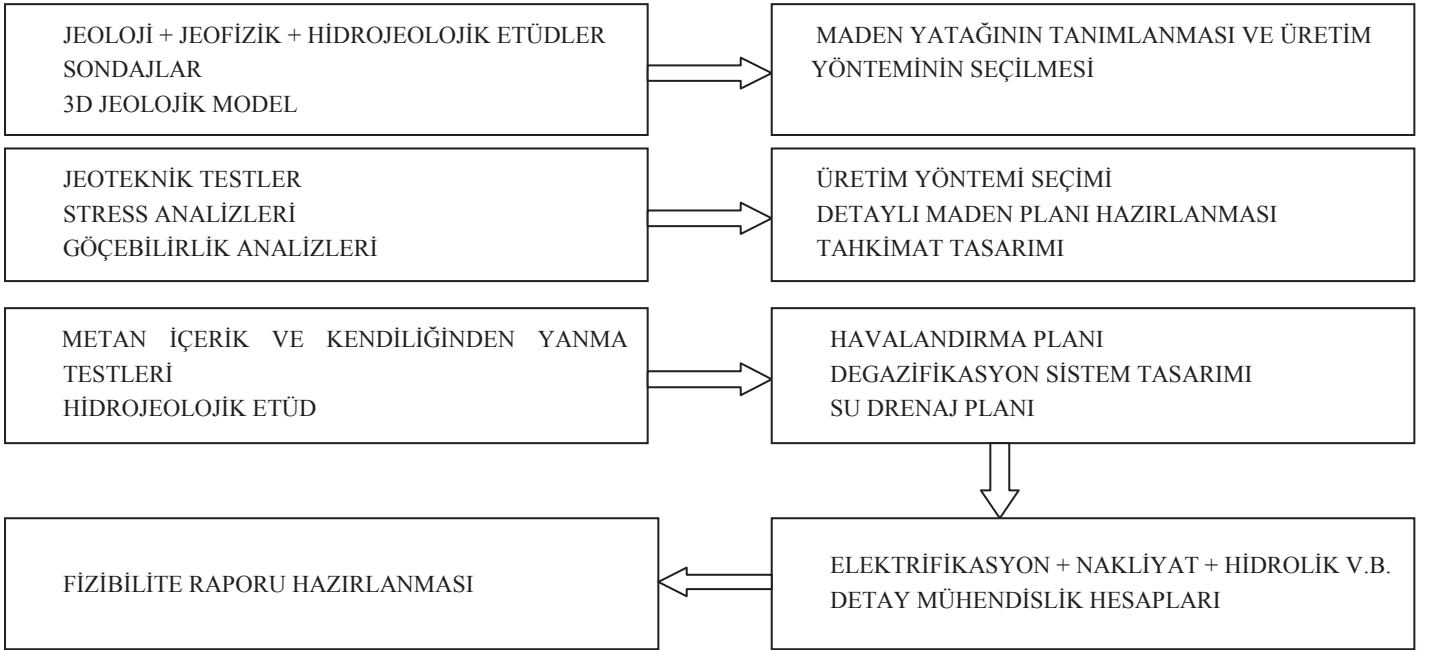
ABD, Avustralya ve Çin gibi büyük kömür üreticisi ülkelerdeki maden ocaklarında iş kazalarındaki düşüşlerin işçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili önlemler ve modern teknoloji kullanımı ile yüksek üretim yoğunluklu ve yüksek performanslı üretim ocaklarında en az işgücü kullanılarak sağlanabildiği görülmektedir.

Ülkemizde de güvenli ve verimli madencilik; öncelikle maden sahasının tüm verilerinin değerlendirilmesi, modern teknolojilerin ülkemizdeki madenlerin koşulları dikkate alınarak uygulanması, bu teknoloji ile çalışacak eğitilmiş iş gücünün sağlanması, işçi sağlığı ve iş güvenliğine yönelik düzenleme ve yaptırımlar ile

denetimlerin proje ve işletme aşamasında olmak üzere yetkin bir denetim grubu tarafından yapılması ile sağlanabilecektir.

### 3.1 Planlama Aşamasında Saha İle İlgili Detaylı Veri Toplanması Ve Yerinde Tespit Ve Test Çalışmalarının Yapılması

Tipik bir maden projesinin aşamaları aşağıdaki gibidir;



Madencilik yapılacak sahada projelendirme ve modern teknoloji ürünü ekipmanlarının kullanılacağı bir işletmecilik yapabilmek için öncelikle bir mühendislik çalışması yapılması gerekmektedir, bunun için de sahaya ait detaylı veriye ihtiyaç bulunmaktadır. Bu amaçla sahada yapılacak olan sondajlar, sismik çalışmalar, yerinde tespit ve laboratuvar çalışmaları ile sahanın her yönüyle aydınlatılması gerekmektedir. Bu

çalışmalardan elde edilen veriler ile sahanın jeolojisinin ve tektonizmasının belirlenmesi, 3 boyutlu jeolojik modelinin hazırlanması, kömür damarına ait jeomekanik, jeoteknik testlerin yapılması, kendiliğinden yanma ve gaz içeriği gibi tüm bilgilere sahip olmak ve o madene özgü kritik parametrelerin bilindiği teknik veri tabanı oluşturulması gerekmektedir. Böylece maden hakkında güvenilir ve gerçek bilgiler elde edilecektir.

Özellikle kömürün kendi kendine yanma özelliği, kömür yatağının bünyesindeki metanın varlığı ve yan kayaçların özelliklerinin bilinmesi planlama, projelendirme, makine ekipman seçimi ve işletmecilik aşamasında belirleyici olmakta dolayısıyla büyük önem arz etmektedir.

Yapılacak olan bu çalışmalarla projenin de önemli adımları belirlenebilmektedir. Metan içeriğinin fazlalığı metan drenajının planlanmasını ve gerekli yatırımların öngörülmesini üretim aşamasında bu sorunla karşılaşmadan önlemlerin alınmasını sağlayacaktır. Keza stres analizlerinin ve jeoteknik testlerin yapılmış olması tahkimat tasarımının uygun yapılması ve ihtiyaç duyulacak topukların doğru bir yaklaşımla baştan planlanabilmesini olanaklı kılacaktır. Şüphesiz maden tasarımının maden veri tabanına dayalı yapılabilmesi güvenilir bir maden projesi hazırlanmasının ön şartıdır.

Özellikle linyit yataklarımızın çoğunun kendiliğinden yanmaya çok yatkın olduğu gerçeği göz önüne alındığında maden üretim projesinde ve havalandırma projelerinde kömürün kendiliğinden yanmasına imkan vermeyecek şekilde ilerleme hızlarını sağlayacak bir üretim yöntemi seçilmelidir. Havalandırma planlarında keza yangını tetiklemeyecek şekilde gerekli hava miktarları ve hızlarını sağlayacak basınç farklarıyla çalışacak bir sistem en baştan planlanmalıdır. Tüm bu planlara rağmen olası bir yangının herhangi bir can kaybına yol açmaması için tüm ocak, gaz ölçüm sistemleri ve gerçek zamanlı izleme sistemleriyle izlenmelidir.

Herhangi bir yangın emaresi görüldüğünde, işletme gerek azot inertizasyonu gerekse hidrolik ramble sistemleriyle donatılmış olmalı ve tehlikeye büyüme imkanı verilmeden müdahale edilip bastırılmalıdır.

Tekrar üzerinde önemle durmak gerekirse tüm bu önlemler fiziki yatırıma dönüştürülmüş ocaklarda üretime geçilmesine izin verilmelidir, olay anında ve sonrasında alınacak olan bu tedbirler hem can hem mal kaybı için çok geç olacaktır. Tüm bu etüt ve çalışmalar gerçekleştirilmeden tam tanımlanmamış bir

saha için projelendirme, planlama ve ekipman seçimi yapılması ise işletmecilik esnasında projelerin sürekli revize edilmesi, uygun olmayan ekipmanlarla çalışma zorluğunu yaşamak, kaynak israfı ve en istenmeyen sonuç büyük kazaların yaşanmasına neden olabilmektedir.

Çalışmanın ilk aşaması olan veri toplama ve değerlendirme sürecin en masraflı aşaması olmakta, bu nedenle birçok faaliyet ihmale uğrayabilmekte ya da eksik yapılma hatta hiç yapılmama eğilimi yüksek olmaktadır.

### **3.2 Modern Teknolojilerin Ülkemizdeki Madenlerin Koşulları Dikkate Alınarak Uygulanması**

Madencilikte yeni teknoloji kavramı, modern kazı, tahkimat, nakliyat donanımları ve yerüstünde kurulan izleme sistemleri ile yeraltındaki üretim faaliyetlerinin gaz ve havalandırma ölçümlerinin izlenmesi, etkili bir haberleşme sistemi kurulması gibi faaliyetlerin tümünü kapsamaktadır. Yeraltından gerçek zamanlı sürekli bilgi akışı olağanüstü ve tehlikeli durumlara zamanında müdahale imkanı sağlamaktadır.

Yeraltı kömür madenciliğinde modern teknoloji ürünü ekipmanların kullanımı ile hem iş güvenliği açısından güvenli hem de verimliliği yüksek madencilik yapılabilmesi sağlanmıştır. Ancak her madenin koşullarına göre bu teknolojinin adapte edilmesi gerekmektedir. Bu her maden için ayrı bir teknoloji geliştirilmesi anlamına gelmemekte ancak her geliştirilen teknolojinin çalışılacak madene özgü özel bazı unsurlarını içinde barındırması gerekmektedir. Ekipman planlamasını yaparken saha için oluşturulmuş teknik veri tabanı dikkate alınarak modern teknolojinin bizim madenimiz ve şartlarımıza uygun parametrelerini bir araya getirmemiz gerekmektedir.

### **3.3 Modern Teknoloji İle Çalışacak Eğitilmiş İş Gücünün Sağlanması**

Yeraltı çalışanlarının iş güvenliği eğitimlerinin yanı sıra modern teknoloji ile

çalışabilecek eğitimleri almasına da ihtiyaç vardır. Her madenin kendine özgü koşulları olduğundan çalışanların işe başladıklarında öncelikle eğitimden geçmesi kendileri ve diğer çalışanlar açısından önem taşımaktadır. Kurulacak eğitim tesislerinde (hatta teknik liselerde Çayırhan örneği gibi) ve iş başında hem mesleği hem de çalıştıkları madendeki teknolojiyi kullanabilmesi/öğrenebilmesi için yoğun bir eğitim almaları sağlanmalıdır. Sadece ileri teknoloji ürünü ekipmanlar kullanımı ile güvenli ve verimli bir madencilik yapılacağı düşünülemez. Bu teknolojiyi kullanabilecek eğitimleri almış çalışanlar ile bu sağlanabilecektir.

Tabii ki eğitim dendiğinde ders verilerek yapılan eğitimlerin yanı sıra meslekte deneyimli kişilerin çalışanlara nezaret etmesi ve bilgilerinden yararlanılması çok büyük önem taşımaktadır. Olan büyük kazalarda deneyimli insanların yönlendirmelerinin eksikliğinin kazaların sonuçlarının büyüklüğünde payı bulunmaktadır.

Ancak ülkemizde sınırlı sayıdaki modern maden projelerinde bu husus ihmal edilmekte makine – ekipman ve alt yapıya milyonlarca dolarlık kaynaklar ayrılırken bu modern ekipmanları kullanacak, teknik personelin yetiştirilmesi için son derece yetersiz, kısıtlı kaynaklar ayrılmaktadır. Oysaki ülkemizin her alanda olduğu gibi bu alanda da son derece yetersiz ara eleman, mühendis ve işçi açığı bulunmaktadır. Nasıl sağlıklı bir maden projesinin hazırlanabilmesi için ciddi kaynaklar ayrılması gerekli ise aynı şekilde bu maden projesinin ayrılmaz bir alt projesi olarak da işgücünün yetiştirilmesi ve eğitimi için de bir proje yürütülmeli ve gerekli kaynaklar sağlanmalıdır.

İşçi sağlığı ve güvenliği konusuna genellikle ilave bir maliyet kalemi olarak bakılan sektörde çalışanların eğitimi de aynı düşünceyle yük olarak kabul edilmektedir. Bu maliyet artırıcı unsurlardan kaçınmak içinde rödevans yöntemi ile sahaların çalışılması ya da taşeron çalıştırma yoluna gidilmektedir. Açıkta ki sınırlı bir süre ve sınırlı bir amaçla sahada görev yapan taşeronlar eleman yetiştirmek için proje gerçekleştirmek yerine diğer firmalardan

eleman transferleri ile sorunu gelgeç önlemlerle çözmeye çalışmaktadırlar. Belirttiğimiz gibi esasen yetişmiş personelin yok denecek kadar az olması bu tür paylaşımlarla da hiçbir firmanın sorununun çözümüne bir fayda sağlamamaktadır. Yetersiz teknik elemanla çalışmanın ilk sonucu planlanmış olan üretim hedeflerine ulaşamamak, büyük kaynaklar ayrılarak yapılmış modern ekipman yatırımının kısa sürede ciddi arıza ve kırılmalar nedeniyle hasarlanması ile hem can hem de önemli kaynak ve cevher kayıplarına yol açılmasıdır.

En başta işçi ve teknik personel yetiştirme projesi için gerekli olan kaynakların ayrılmaması nedeniyle, daha projenin ilk aşamalarından başlayarak önemli zararlara yol açılmaktadır.

Son zamanlarda sektörde etkili olmaya başlayan Çinli firmalarla bu eksikliğin giderilmeye çalışılması “taşımaya suyla değirmen döndürme” çabasıyla öteye gitmeyecektir. Her ne kadar bu firmalardan sağlanacak teknik eleman desteğinin projenin başlangıç yıllarında teknik personel ve eleman yetiştirilmesi üzerinde olumlu katkıları da olsa bunu Çinli firmaların sürgit taşeronluk hizmetine dönüştürme, ülkemiz madenciliğine bir katkı sağlamayacağı gibi hali hazırda zaten 1.3 milyar ton kömür üreten Çin madenciliğine de bir katkı sağlamayacak ancak üç beş sene için belki bazı maden sahiplerine bir kar aktarımı oluşabilecektir. Açıkta ki böylesi bir kolay yol ile üç beş sene sonunda sorun, daha da ağırlaşmış olarak gene sektörün omuzlarında kalacaktır.

### **3.4 İşçi Sağlığı Ve İş Güvenliğine Yönelik Düzenleme, Uygulama, Yaptırım Ve Denetimler**

Madenlerde meydana gelen kazalar sonucu ortaya çıkan ölümlerin büyük oranda işçi sağlığı ve iş güvenliği konusunda yaşanan eksik uygulamalardan kaynaklandığı görülmektedir. Ancak bu konudaki eksikliklerin giderilmesi sorunların çözüleceği anlamına gelmemektedir. Uygulamada işçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili denetim ve yaptırımların proje ve

işletme aşamasında olmak üzere yetkin bir denetim grubu tarafından yapılması denetimler sonucunda belirlenen aksaklıkların giderilmesi yönünde de yaptırımlar olması gerekmektedir. Alınacak önlemlerin başarıya ulaşması için işverenin kurallara uyması, çalışanın da işçi sağlığı ve iş güvenliği konusunda eğitilmesi bu işin olmazlarıdır.

#### 4 SONUÇ

Ülkemizde madencilik sektöründe uluslar arası standartta mevzuat ve yasal düzenlemeler bulunmasına rağmen ne yazık ki çoklu ölümlerin olduğu büyük kazalar yaşanmaktadır. Bu da uygulamada eksikliklerin olduğunu, işçi sağlığı ve iş güvenliğini sağlamak için olmazsa olmaz olan modern teknolojilerin uygulanması, çalışanların eğitilmesi ve yasal düzenlemelerin etkin bir şekilde denetimlerinin yapılması hususlarında yetersiz olduğumuzu göstermektedir.

Giderek derinleşen dolayısıyla iş güvenliği riskleri artan ocaklarımızda güvenli ve verimli madencilik yapabilmek, modern teknolojilerin ülkemizdeki madenlerin koşulları dikkate alınarak uygulanması, bu teknoloji ile çalışacak eğitimli iş gücünün sağlanması, işçi sağlığı ve iş güvenliğine yönelik düzenleme ve yaptırımların hayata geçirilmesi, denetimlerin proje ve işletme aşamasında olmak üzere yetkin bir denetim grubu tarafından yapılması ile sağlanabilecektir.

Yukarıda da anlattığımız üçlü sacayağının güvenilir bir madencilik için kurulabilmesi güçlü bir organizasyon yapısı ile mümkündür. Burada anlattığımız projelerin güvenilir madencilik prensiplerine göre yapılıp yapılmadığının kontrolü ve onaylanması ile bu projelerin uygulamadaki denetimlerinin yapılması Devlet Daireleri arasında yok olmamalıdır. Bir yanda MİGEM projeleri kontrol edip onaylarken (Enerji Bakanlığı) diğer yandan uygulamayı ağırlıklı olarak Çalışma Bakanlığı müfettişleri denetlemekte ve bu iki bakanlık arasında da maden işletmeleriyle ilgili

herhangi bir koordinasyon bulunmamaktadır. Bu ise genellikle proje ile uygulama arasında önemli gri alanlar bırakmakta ve varsa bir eksiklik görülemediği gibi, büyük faciaların arifesinde bile ciddi bir eksikliğin görülemediğinden söz edilebilmektedir.

Güvenilir bir maden işletmeciliğinin yapılmasının ilk adımı yapılan maden projesi ile belirlenmektedir. Gerek bu projelerin hazırlanması gerekse uygulamanın kontrol ve denetimi için son zamanlarda Yetkilendirilmiş Tüzel Kişilikler tarafından bu işlemlerin yapılmasına yönelik düzenlemeler yapılmıştır. Uygulama henüz yeni olduğu için yukarıda bahsettiğimiz sorunların çözümüne ne ölçüde katkı sağlayabileceğini söylemek için erkendir.

Ancak ilk adımda tüm ruhsatların az çok aynı işlem prosedürlerine bağlı olması derin ve ciddi riskler içeren işletme projeleri ve bu projelerin uygulama denetimlerinin ne kadar hassasiyetle yapılabileceği konusunda soru işaretleri oluşturmaktadır.

Gene Soma kazasından sonra yapılan maden kanunu değişikliği ile getirilen birçok önlem ilk anda yoğun bir uygulama ve denetim sürecine girmişse de bunların gerek yasal zeminde gerekse fiili uygulamada hızını kaybettiğini söyleyebiliriz.

Madenlerle ilgili sigorta yapılması ve bununla ilgili işlemler de henüz amacından oldukça uzak durmaktadır.

Güvenilir madencilik yapılabilmesi için bahsettiğimiz sacayağının etkili bir şekilde oluşturulması ve bunun hayata yansımalarının sağlanması; alınacak tüm önlemlerin kalıcı olması ve yeni önlemlerin de alınıp tavizsiz uygulanması ile sağlanabilecektir. Madencilikğin çığ gibi birikmiş ve hayat memmat meselesi haline gelmiş olan bu sorunların bürokratik mekanizmalar içinde çözümünü tecrübe ettiğimiz üzere etkili olmamakta ve uzun süreler almakta canlara mal olmaktadır.

Bu sürecin etkili ve sonuç alıcı bir organizasyon yapısıyla ele alınması mecburiyeti vardır. Kanaatimizce kurulacak olan ÖZERK, Sektörün tamamını kavrayacak bir MADENCİLİK ÜST KURULUNUN sektöre yön verici ve denetleyici olacaktır.

Güvenilir madencilğin şüphesiz en önemli şartı eğitimli işgücü ve teknik personeldir. Maalesef gerek TTK bünyesindeki, gerek TKİ ve bazı özel sektör bünyesindeki bu amaçla kurulmuş eğitim merkezleri ya kapanmış ya da büyük ölçüde işlevsizleşmiş durumdadır. Sektördeki küçük ölçekli madenciler, taşeron firmalar ve Çinli firmaların bu sorunun çözümü için bir adım atmaları beklenemez. Bu konuda gerekli tecrübe ve bilgi birikimine sahip TKİ ve TTK'nın elbirliği ederek, rödevanslardan sağladıkları gelirlerle bir bütçe oluşturarak, Madenci Eğitim Merkezleri (Soma+ Zonguldak+ Çayırhan) kurmaları ve hayatiyetini sağlamaları hem şehit düşen madencilere hem de yaşayan madencilere en büyük borçlarıdır.

*MADENCİLİK*

*KAYA MEKANİĞİ / İŞLETME / HUKUK / ÇEVRE / EĞİTİM*



# Yeraltı Madenlerinde Yapısal Deformasyonların İzlenmesinde Robotik Bir Yaklaşım

## *A Robotic Approach For Structural Stability Assessment Of Underground Mines*

C. Güney

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

H. Tunçdemir

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

S. B. Sayın

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Müh. Programı, İstanbul*

**ÖZET** Her ne kadar yeraltı maden ocaklarındaki üretim süreci üç boyutlu olarak gerçekleştirilse de maden haritaları genelde iki boyutlu (2B) olarak üretilmektedir. Haritaların 2B olması yeraltındaki hacimsel hesapların yapılmasında ya da yeraltı maden ocağının yapısal sağlamlığının değerlendirilmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle 3B mekansal modellere (*volumetric map*) gereksinim bulunmaktadır. 3B modelleri hızlı ve kolay bir biçimde elde etme yolu lazer taramadır. İnsanlar için yeraltı maden koşullarında çalışmanın zorlu ve tehlikeli olması ve harita üretiminin daha hızlı ve etkin gerçekleştirilebilmesi için mekansal verilerin robotlar tarafından üretilmesi maden işletmesinin verimliliği artıracak ve iş güvenliği de sağlanmış olacaktır. Lazer tarayıcılarla yeraltı maden ocaklarının 3B olarak ölçülmesi yeni bir konu değildir. Bu çalışmanın farklılığı çalışma kapsamında önerilen mühendislik çalışma gereksinimlerini karşılayacak 3B taramanın termal algılamayla birlikte robotik bir platformda gerçekleştirilmesi ve sonuçların karar-destek amacıyla kullanılması için mekansal bilgi sistemi üzerinden karar vericilere sunulmasıdır.

**ABSTRACT** Although the process of production in underground mines is performed as 3D, mine maps are generally produced as 2D. Even when accurate maps exist, they provide information only in 2D, which is usually insufficient to assess the structural soundness of underground mines. Accurate 3D models (*volumetric maps*) of underground mines would be of great relevance to structural stability assessment. A surveying and monitoring robotic system which can be remotely operated and/or can work autonomously robot can be used as ground vehicle for underground mining. Such an automation of underground mining must occur in a manner that is economically beneficial to the industry and that enhances the safety of the underground ans labor. In the scope of this study how navigation parameters of the robot will be produced and how point clouds of the 3D scanner will be registered. Another subject for the study is how to setup a special decision support system for fused sensor data sets.

## 1 MOTİVASYON

Dünya genelinde madencilik endüstrisinde araştırmacıların ve uygulamacıların ciddi bir biçimde önem verdikleri iki konu madencilik uygulamalarındaki “iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması” ile “üretkenliğin

ve verimliliğin artırılması”dır. Amerika Birleşik Devletleri, Avustralya, Güney Afrika Cumhuriyeti vb. madencilik uygulamalarının gelişmiş olduğu ülkelerde yasa, yönetmelik ve eylemlerde işverenlerin maden çalışanları için sağlıklı ve güvenli

çalışma ortamlarını sağlamaları ve bu durumun sürdürülebilirliğinin gerekliliği ifade edilmektedir. Bu nedenle yer altı madenlerinde sürekli olarak izleme ve inceleme çalışmaları yapılarak güvenlik açısından riskli olacak alanlar önceden tespit edilmeye çalışılmakta ve buna ilişkin karardestek (*decision-support*) süreçleri tehlike oluşmadan önce işletilebilmektedir. Bunun için de hassas, doğru, güvenilir ve ekonomik jeodezik ölçmelerin hızlı ve sürekli bir biçimde gerçekleştirilmesine gereksinim bulunmaktadır (Güney vd., 2015a).

Yeraltında madencilik ölçmeleri ve maden haritaları üretim işi son derece karmaşık, zor ve riskli bir iş olduğundan bu gereksinimin yerine getirilmesi diğer bir ifadeyle maden ocağındaki üretim devam ederken yeraltı ortamının sürekli ve hızlı olarak izlenmesi kolay değildir. Ancak bu durum çalışma şartları bakımından en ağır iş kolu olan yeraltı madencilik uygulamalarında, üretkenliği ve verimliliği arttıracak, aynı zamanda riskli yer altı boşluklarında ölçme uzmanı/operatör bulundurma gereksinimini ortadan kaldıracak, uzaktan kontrol edilebilen ve/veya otonom hareket edebilen robotik ölçme sistemleri ile gerçekleştirilebilir (Güney vd., 2015a).

Yeraltı madencilik uygulamalarına yönelik olarak riskli alanlarda jeodezik ölçme çalışmalarını daha presizyonlu, doğru, güvenli, hızlı ve ekonomik bir biçimde gerçekleştirebilmek için çok amaçlı veri toplayabilen, duyarğa (algılayıcı, *sensor*) tabanlı gezgin (*mobile*) bir uygulama Ar-Ge robotu bütüncül bir sistem anlayışıyla geliştirilmiştir (<http://www.geo.itu.edu.tr/geoross/>). “Robotik Ölçme ve İzleme Sistemi (*Geo-enable Robotic Surveying System: GeoRoSS*)” ile madencilik faaliyetleri ile oluşturulan yeraltı boşluklarına erişilerek jeodezik ölçme kalitesindeki veriler elde edilmekte, değerlendirilmekte, modellenmekte, mekansal analiz ve karardestek aşamasında kullanılarak özellikle madenlerin yapısal deformasyonları izlenmektedir. Şekil 1’de bir uygulama Ar-Ge projesinin ürünü olan ve test robotu olarak kullanılan ‘GeoRoSS’ gösterilmektedir.

Sürekli gözlem ve ölçme yapmaya dayalı bir sistem olan ‘GeoRoSS’ elde ettiği jeodezik kalitedeki mekansal verileri mühendislik projeleri için yeterli çözünürlükte anlamlı bir biçimde bütünleştirdikten sonra yeraltı maden ocağının üç boyutlu (3B) mekansal modelini üretmekte ve bu model o maden ocağı için geliştirilen Mekansal Bilgi Sistemi (Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), *Geospatial Information System (GIS)*)’nin temelini oluşturmaktadır. Sözü edilen Mekansal Bilgi Sistemi kullanılarak üretilen mekansal altlıklar (haritalar) üretimin yönlendirilmesinde, veriminin arttırılmasında, tünel içi deformasyonların belirlenmesinde, kaza olduğunda arama-kurtarma faaliyetlerinin planlanmasında kullanılabilecektir.

Çalışmanın temel konusu çok fonksiyonlu robotik ölçme sisteminin navigasyon parametrelerinin üretilmesi, jeodezik ölçmelerle ilişkilerinin kurulması ve 3B lazer tarayıcı tarafından üretilen 3B nokta bulutlarının navigasyon parametreleri kullanılarak çakıştırılmasıdır (*automatic registration*). Çalışmanın bir diğer konusu da ortam bilgilerinin mekansal verilerle birleştirilerek GIS tabanlı mekansal karardestek (*spatial decision support*) sisteminin oluşturulması (Güney vd., 2015b) ve yer altı ortamlarında geometrik şekil değişimlerinin, hacimsel değişimlerin belirlenmesi çalışmalarının bu sistemde nasıl izlenebileceğinin açıklanmasıdır.



Şekil 1. Geliştirilen GeoRoSS’un görüntüsü

## 2 'GEOROSS'UN DONANIM VE YAZILIM BİLEŞENLERİ

'GeoRoSS' karmaşık yeraltı ortamlarında çalışabilecek nitelikte duyargalarla (*perception sensors*) donatılmış çok fonksiyonlu bir ölçme ve izleme platformu ile yazılımlardan oluşan gezgin robotik bir sistemdir (Güney vd., 2015b). Farklı özellikteki duyargaların kontrolü web tabanlı bir kullanıcı arayüzü üzerinden sağlanmaktadır.

Hareketli platform olarak engebeli ve zorlu arazi koşullarına uygun *Clearpath* firması tarafından geliştirilmiş olan Husky A200 insansız kara aracı (*Unmanned Ground Vehicle*, UGV) kullanılmaktadır. Diferansiyel sürürlü 4 tekerlekli Husky A200 platformu 33 cm (13 inç) tekerlek çapına sahip 50 kg ağırlığında bir araç olup 1 m/sn hızla ilerleyebilmekte ve 75 kg ağırlığında yük taşıyabilmektedir (URL 1).

Husky A200 holonomik olmayan (*non-holonomic*) diferansiyel sürürlü gezgin bir araçtır. Çözünürlüğü 1024 *pulses per revolution* (PPR) olan optik artırılmış quadrature encoderleri bulunmaktadır. Tekerleklerin dönme açılarını ve alınan yol miktarını ölçebilen encoderler aracılığıyla tekerlek odometri (*wheel odometry*) bilgisi yani aracın bulunduğu konumu (xy eksenlerindeki değerleri) ve referans alınan düzleme göre aracın yönü ve açısı hesaplanmaktadır. Bir çeşit *Dead Reckoning* hesaplama yöntemi olan odometri bilgisi konum bilgilerini sürekli olarak önceki konum bilgilerine göre türeteceği için hata birikimi oluşacaktır. Bu nedenle gezgin robotlarda yönlendirme hatalarını azaltacak farklı tipte duyargalar kullanılmaktadır.

GeoRoSS kapsamında kullanılan duyargalar *SICK* firması tarafından üretilmiş olan LMS511 PRO lazer mesafe bulucu (*laser rangefinder*), Xsens firması tarafından üretilmiş olan MTi-G-700 eylemsizlik duyargası, *Zoller+Fröhlich* (ZF) firması tarafından üretilmiş olan Imager 5010 3B yersel lazer tarayıcı (*terrestrial laser scanner*) ve ZF firması tarafından üretilmiş T-Cam ısıt görüntüleyicidir (*thermal camera*).

Lazer mesafe bulucu 5-80 metre gibi kısa ve orta mesafelerde etkili olan ve mobil platformun rotası üzerindeki engelleri belirlemede ve yön bulmada kullanılan 2B lazer tarayıcı olup puls yöntemi (*time-of-flight*) ile çalışmaktadır. Bu yöntem ile çalışan lazer mesafe bulucular ölçtükleri uzunlukları çeşitli dalga boylarında gönderdiği lazerin gidiş/dönüş zamanının ölçümünden faydalanarak hesaplamaktadır. 180° görüş açısına sahip, iki boyutta derinlik verisi sağlayan SICK LMS serisi mesafe bulucular, robotik platformlarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Yersel lazer tarayıcı ise 3B mesafe ölçümü yaparak yüksek görüş açısı ile uzun mesafe tarama bilgisini nokta bulutu olarak sağlayan faz-bazlı (*phase-based*) çalışan tarama platformudur. ZF Imager 5010 187 m uzaklığa kadar tarama yapabilmekte, saniyede 1 milyon nokta ölçebilmekte ve 320°x360°'lik geniş görüş alanı bulunmaktadır. 0.1 mm çözünürlüğe sahip Imager 5010 cihazının ölçme doğruluğu santimetre altında gerçekleşmektedir.

Lazer tarayıcılarla, ölçülecek alanın 3B nokta verileri istenilen aralıklarla çok yüksek hızla ölçülebilmektedir. Çalışma kapsamında kullanılmakta olan yersel lazer tarayıcı tipindeki profesyonel tarayıcılar saniyede 1 milyon noktayı 3B olarak ölçebilmektedir. Her bir noktada yapılan lazer tarama ölçüleriyle elde edilen milyonlarca nokta bir nokta bulutu (*point cloud*) veri setini oluşturmaktadır. Çalışma alanı tek bir noktadan tamamıyla taranamıyorsa ve değişik noktalarda tarama ölçmeleri gerçekleştirildiyse her bir noktada üretilen nokta bulutlarının birleştirilmesi/çakıştırılması gerekmektedir. Ancak her bir tarama sonucu üretilen nokta bulutları tarama cihazının merkezinde yer aldığı bir koordinat sisteminde tanımlanmaktadır. Ne kadar tarama noktası varsa o kadar farklı lokal koordinat sistemi tanımlanmış demektir. Nokta bulutlarının birleştirilmesi için koordinat sistemlerinin birbirine dönüşümleri sağlanmalıdır ve bu işleme çakıştırma (*registration*) denilmektedir. (Güney ve Sayın, 2016)

Lazer tarayıcılar nokta bulutundaki her bir noktanın 3B konum bilgilerinin yanında yoğunluk (*intensity*) bilgisi de üretmektedir. Çalışma kapsamında yoğunluk bilgileri 3B Mekansal Bilgi Sisteminde detayların belirlenmesinde ve çıkarılmasında (*feature extraction*) kullanılmaktadır. Ayrıca lazer tarama cihazı dijital bir kamera ile birlikte çalışıyorsa nokta bulutları görüntü ile kaplanabilmekte (*textured data*) ve nokta bulutundaki noktalar için RGB bilgisi üretilebilmektedir. RGB verileri 3B modelin anlamlı görselleştirilmesinde etkin olarak kullanılabilir. (Güney ve Sayın, 2016)

Robotik Ölçme Sistemi kinematik yöntemde 2 farklı teknikle ölçme yapacak şekilde tasarlanmıştır: “Dur ve Git (*Stop-And-Go*)” ve “Sürekli Kinematik (*Continuous Kinematic*)”. Dur ve Git tekniğinde Robotik Ölçme Sistemi hareket eder, durur ve tahkimat sistemlerinin tarama işlemini gerçekleştirir, sonra yine hareket eder. Ölçme işlemini ya 5 m. gibi belirli bir uzaklıkta ya da 10 sn. gibi belirli bir zaman aralığında sürekli tekrar ettirir. Sürekli Kinematik tekniğinde durmak yoktur hareket ve ölçme işi süreklidir. Çalışma kapsamında kullanılmakta olan 3B Lazer Tarayıcı aynı zamanda *profiler* modunda da kullanılabilir. Profiler modunda kullanıldığında 25Hz tarama frekansıya 320° tarama açısıyla çalışabilmektedir. Tarama modunda ise yatayda 360° düşeyde 320° görüş açısı ile tarama yapmaktadır.

Gezgin robotta bulunan 3B lazer tarayıcı ile aşağıda ifade edilen ölçme teknikleri uygulanmaktadır:

- Dur ve Git Kesit Taraması (*Stop-and-Go Profile Scanning*)
- Sürekli Hareketli Kesit Taraması (*Kinematic/Continuous Profile Scanning*) (bkz. Şekil 2)
- Dur ve Git 3B Tarama (*Stop-and-Go 3D Scanning*)
- Sürekli 3B Tarama (*Kinematic/Continuous 3D Scanning*)

Yukarıda uygulanan her bir ölçme tekniği yeraltında 3B kesit bilgisini üretmeye olanak vermektedir.

9DOF Eylemsizlik Navigasyon Sistemi olan MTi-G-700 GPS/INS GPS destekli bir

“*Inertial Reference System, INS*” olup açışal momentum prensibine dayanarak robotun oryantasyonunu ölçen bir cihaz olan jiroskopu (*gyroscope*), hızlanmanın miktarını ölçen bir ivmeölçeri (*accelerometer*) ve manyetik alanın yönünü tespit eden bir manyetometreyi (*magnetometer*) barındırmaktadır. INS, hareketli platformun hız (ivme), yöneltme ve konum bilgilerini elde eden bir sistemdir.

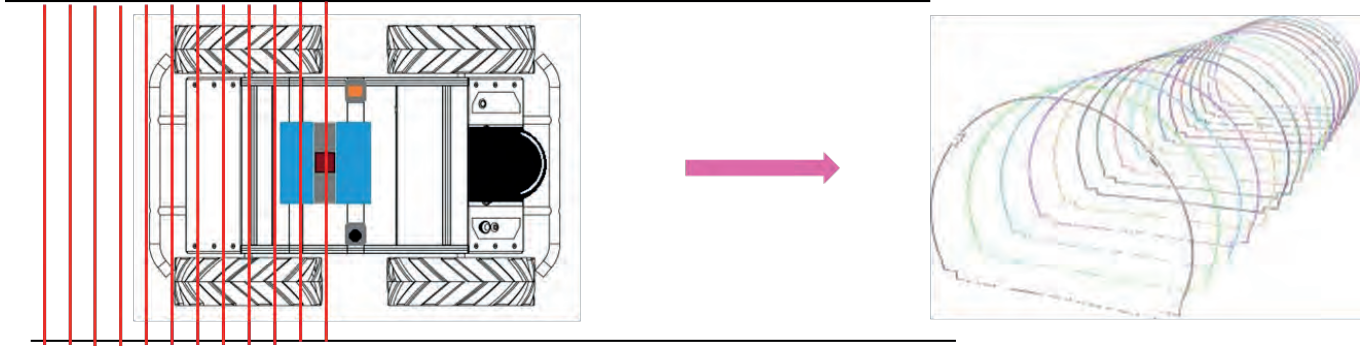
Bu duyargalara ek olarak hareketli platformda GNSS/GPS alıcısı bulunmaktadır. Bir global konum belirleme teknolojisi olan *Global Navigation Satellite System* (GNSS) duyargasının kullanıldığı durumlarda konum bilgisi “*World Geodetic System-1984* (WGS84)” jeodezik datumunda üç boyutlu olarak belirlenmektedir. ‘GeoRoSS’ üzerinde bundan sonra yapılan tüm ölçmeler jeodezik bir koordinat sisteminde tanımlanmaktadır (Güney ve Sayın, 2016).

Biri robot üzerinde (*on-board*) ve diğeri uzak bilgisayar olmak üzere 2 farklı bilgisayar kullanılmaktadır. Taşıyıcı platform üzerinde Linux Ubuntu 14.04 LTS işletim sistemli bir Dell Latitude E4300 dizüstü bilgisayar bulunmaktadır. Robot üzerinde hesaplama gücü olarak taşınabilir bilgisayar kullanılmasının yanında Nvidia firmasının Jetson TK1 mini bilgisayarı (*single board computer*) da kullanılmaktadır. Sözü edilen işletim sistemi altında ara katman (*middleware*) olarak “*Robot Operating System* (ROS)” platformunun Indigo sürümü çalıştırılmaktadır. Çeşitli algoritmalar C++ kodu olarak ROS-Indigo üzerinde ROS kütüphaneleri kullanılarak uygulanmaktadır. Hareketli platform üzerinde bulunan duyargalar bir algılayıcı ağı (*sensor network*) oluşturmakta ve her bir algılayıcının kütüphaneleri ve sürücülere ROS çatkısı (*framework*) üzerinde yapılandırılmaktadır. Her bir algılayıcının konumu hareketli platformun ağırlık merkezine göre belirlenmiştir. Bu bilgi ROS üzerinde ‘*frame*’ dönüşümünde kullanılmıştır. Böylece algılayıcıların birbiri ile olan ilişkisi kurulmuş ve ‘GeoRoSS’ üzerinde bulunan duyargalardan gelen veriler birleştirilebilmiştir. Hareketli platformun

kontrolünde kablosuz bağlantı özelliği olan Logitech Gamepad F710 kullanılmaktadır. Uzak bilgisayar olarak Dell Inspiron 5558 dizüstü bilgisayar Ubuntu 14.04 LTS işletim sistemiyle çalışmaktadır.

Robot bilgisayarı, duyargalar ve uzak bilgisayar arasındaki iletişim kısa mesafeli

ve kablosuz bir router üzerinden sağlanmaktadır. 2.4 GHz 300Mbps TP-Link kablosuz router cihazının 2 adet 5 db antenleri iletişimi güçlendirmek için 8 db antenlerle değiştirilmiştir.)



Şekil 2. 'GeoRoSS' sürekli hareketli kesit taramasının çalışma ilkesinin görselleştirilmesi

Robot bilgisayarında robotun çalışmasını sağlayacak düğümler çalıştırılmakta, uzak bilgisayarda ise robotun çıkarttığı haritanın ve izlediği gezinenin görüntülenebileceği "rviz" aracı çalıştırılmaktadır. Aynı zamanda "rviz" aracı üzerinden robota gerçekleştirilmesi için çeşitli komutlar da verilebilmektedir (Güney ve Sayın, 2016).

Robotik aracın ve tarayıcının uzaktan kontrolünü yapacak ve aynı zamanda duyarga verilerinin de izlenebileceği bir "Operatör-Ölçme Platformu Arayüzü (GUI)" geliştirilmiştir. HTML5 teknolojisi ile uyumlu olarak web tarayıcısından ulaşılabilen arayüz robotun ROS ortamındaki bilgilerine ulaşabilmektedir. Rosbridge protokolü ROS uyumlu olmayan programlara bir paket ve JSON API üzerinden ROS işlevselliği sağlamaktadır (URL 3). Çalışma kapsamında JavaScript üzerinden kullanılan HTML5 destekli websocket nesnelere üzerinden web tarayıcılarının robotik sistemle çift yönlü iletişime ve etkileşime geçilebilmesi sağlanmaktadır. Rosbridge tabanlı bir web uygulaması çalışma kapsamında geliştirilmiştir. Web arayüzü mobil platformla ve platform üzerinde bulunan duyargalarla iletişim kurulmasını ve yapılan ölçmelere dayalı üretilen haritanın web üzerinden görselleştirilmesini sağlamaktadır. Düşük hafıza kullanımı

nedeniyle web sunucusu olarak Nginx kullanılmaktadır (Güney ve Sayın, 2016).

### 3 GEZGİN ROBOT NAVİGASYONU

İnsanlarla karşılaştırıldığında sınırlı da olsa robotların en önemli özelliklerinden biri içinde buldukları ortamı sahip oldukları duyargalar sayesinde yorumlayıp nasıl tepki vereceklerini karar verebilmeleridir (Schulz 2013). Bu sayede robotlar içinde buldukları ortamlarla etkileşime geçebilmektedir. Sözü edilen durumun gerçekleşebilmesi için robotların içinde hareket ettikleri ortamı tanımaları/keşfetmeleri (*mapping*), bu ortam içerisinde kendi konumlarının neresi olduğunu (*pose/location/position*) bilmeleri, tüm bu bilgilere göre hareket güzergahlarını/gezintilerini (*trajectory*) belirlemeleri/planlamaları (Durrant ve Bailey 2006) ve güzergahlarında bulunan statik ve dinamik engellerden sakınabilmeleri gerekmektedir. Bu durumda robot tarafından yapılması gereken ilk iş kendi navigasyonu için ortamın haritasını üretmesidir.

Gezgin robotun yer altında ölçme yapabilmesi için öncelikle yeraltı maden ocağında hareket ederken hem konumunu belirlemesi (*localization*), hem ortamın haritasını üretmesi (*mapping*) ve son olarak da yörünge planlaması (*path planning*)

yapması gerekmektedir. Sözü edilen bu üç iş adımı (*task*) sistemin navigasyon bileşeninin sorumluluğundadır.

‘GeoRoSS’ üzerindeki navigasyon duyargaları (*range and inertia sensors*) kullanılarak robotun konum ve duruş kestirimi (*robot pose estimation*) yapılmakta ve hareket güzergahının/gezinesinin belirlenmesi (*trajectory estimation*) gerçekleştirilmekte, 3B yersel lazer tarayıcı aynasının zaman içerisindeki 3B konum bilgileri üretilmekte, nokta bulutları diğer duyargalardan üretilen bilgilerle eş zamanlı olarak oluşturulmakta ve sözü edilen tüm bilgiler bir algoritma ile birleştirilmektedir.

Mobil ölçme ve izleme sistemi üzerindeki duyargalarla ortamı ölçmekte ancak bu ölçmeler hataları da beraberinde getirmektedir. Ortamdaki belirsizlikler ve duyargaların gürültüleri robot navigasyonunda karşılaşılan en temel problemlerdir. Ölçmelerdeki belirsizliklerin giderilmesi için “Eş zamanlı Konum Belirleme ve Harita Üretme (*Simultaneous Localization and Mapping, SLAM*)” algoritmaları kullanılmaktadır. Stokastik SLAM olarak isimlendirilen ilk çalışma 1986 yılında önerilmiştir (Smith vd. 1987). Proje kapsamında yer altı ortamlarına özgü ve proje amacını karşılayabilecek doğrulukta bir SLAM yöntemi oluşturulmaya çalışılmaktadır. ‘GeoRoSS’un bu yüksek doğruluğa hem otonom bir araç yapısı olabilmesi için hem de yüksek çözünürlüklü nokta bulutlarının yüksek doğrulukla ilişkilendirilebilmesi için gereksinimi bulunmaktadır.

Madencilik alanında robot kullanımı yeraltı madenlerinde (*underground mining*) veya açık ocak madenlerinde (*above ground mining*) olmasına göre farklılıklar göstermektedir. Bunun en temel örneği yer üstünde robotun konum belirleme işi (*localization task*) GPS/GNSS kullanılarak kolaylıkla gerçekleştirilebilirken, yer altında GPS/GNSS uygulaması gerçekleştirilmenin çok zor ve pahalı bir çözüm olmasından dolayı başka konum belirleme cihazları ve teknikleri kullanılmaktadır. Yer üstünde RTK-GPS/DGPS teknikleri makine görgüsü teknikleri (*machine vision techniques*) ile

birlikte kullanılarak robotla yapılacak işler yer altında yapılacak uygulamalara göre görece daha kolay ve hızlı gerçekleştirilebilmektedir.

Mobil Robotik Ölçme Sistemi’nin yer altı madencilik uygulamalarında kullanılabilmesi için çözülmesi gereken en temel sorun “Global Konum Belirleme Sistemi (*Global Positioning System, GPS/GNSS*)” verisi olmayacağı için mobil platform üzerindeki diğer duyargaların doğru konum ve oriyantasyon bilgilerini üretmesi ve bunun devamlılığının sağlanabilmesidir. (Güney vd., 2015a) Yer altında GPS/GNSS olanağından yararlanılmadığı için SLAM gibi istatistiksel kestirim yöntemleri kullanılmaktadır.

Robotun tekerleğine bağlı bir encoder aracılığıyla üretilen tekerlek odometri verisinin gürültülü bir odometri verisi olması nedeniyle güvenilir olmayan tekerlek odometrisi tek başına kullanılmamaktadır. Yer çekimi veya yerin sürtünme kuvveti gibi sebeplerden kaynaklanan ötelenmeler ve yerinde saymalar robotun tekerleklerinin döndüğünden farklı miktarda hareket etmesine sebep olabilmektedir. Çözünürlükleri yetmediği ve performansları düşük olduğu için kızılötesi, ultrasonic, sonar vb. duyargalar kullanılmamaktadır. Yer altı ortamlarında ışığın az ya da hiç bulunmaması nedeniyle RGB-D, Kinect gibi görsel odometri (optik algılayıcılar) de kullanılmamaktadır. Çalışma kapsamında odometri bilgisi lazer mesafe bulucu ve INS duyargaları ile üretilmektedir. (Güney vd., 2015a)

2B lazer mesafe bulucu/ölçücü (*laser rangefinder*) ve atalet/eylemsizlik (*Inertial Measurement Unit, IMU*) duyargalarından elde edilen ‘odometrik veriler’, SLAM algoritması içerisinde birleştirilir ve ortamın navigasyon amaçlı (*robot trajectory and pose estimation*) 2B haritası üretilmektedir. Sözü edilen duyargalardan elde edilen verilerde bulunan gürültülerin (*noise*) elimine edilmesinde/filtrelenmesinde farklı istatistiksel kestirim yöntemleri kullanılabilir. Artırımlı bir hata yapısında bulunan sözü edilen hataların birikimini sınırlayabilmede en etkin yol

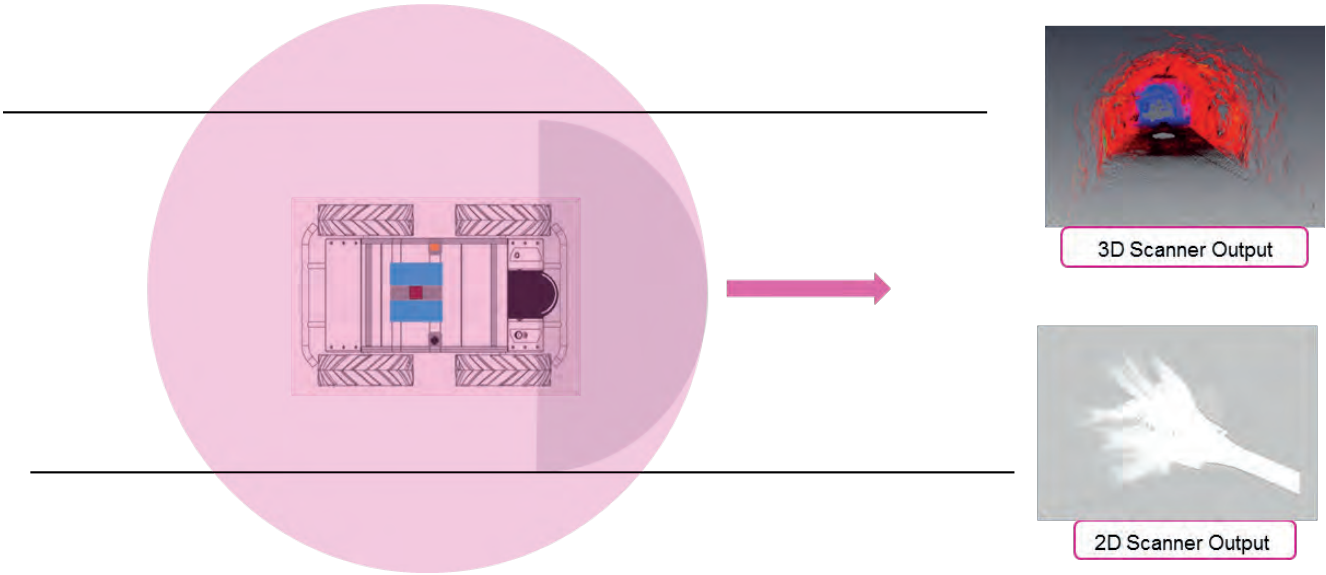
döngü kapanmalarıdır (*loop closure*). Yer altı maden ocaklarında döngü kapanmalarının yapılabilmesi çok olası olmayan bir konudur. Literatürde farklı yaklaşımdaki SLAM algoritmaları ile robotun hareket modelinden yararlanılarak robotun konum ve duruş kestirimi, ortam haritasının üretimi ve otonom gezinim problemleri robotta kullanılmakta olan duyargalara bağımlı olarak çözülmektedir. Bunlara örnek olarak Kalman Filtrelemesi, Genişletilmiş Kalman Filtrelemesi (*Extended Kalman Filter*), Monte Carlo Konumlaması (*Monte Carlo Localization*), Markov Konumlaması, Rao-Blackwellized Kısmi Filtrelemesi vb. gösterilebilir (Montemerlo vd. 2003; Eliazar ve Parr, 2003). Proje kapsamında “GeoRoSS”un odometrik performansı son derece önemlidir. Çünkü bu performans doğrudan yüksek çözünürlüklü nokta bulutlarının çakıştırılmasındaki (*registration*) doğruluğu etkilemektedir.

Gezgin robotik alanında SLAM probleminin çözümü gezgin robotun kapalı alanlarda ya da açık alanlarda (arazide/karada, havada, su altında, uzayda) bulunmasına, yararlandığı algılayıcı (*sensor*) türlerine, kullandığı matematiksel yaklaşımlara bağlı olarak çok farklı biçimlerde uygulanmaktadır. SLAM probleminin genel kabul görmüş bir çözümü olmamakla birlikte araştırmacılar kendi projelerine uygun optimum çözümleri geliştirmek için yoğun biçimde çalışmaktadırlar. SLAM sorunsalına bir yaklaşım da Geomatik Mühendisliği çalışma tarzıyla geliştirilebilir. Algılayıcı gürültülerine ve lineer olmayan durumlara karşı dayanıklı (*robust*) ve hesaplama verimliliği yüksek bir grafik tabanlı (*graph-based*) SLAM yaklaşımı uygulanabilmektedir. Öncelikle doğru ve güvenilir harita üretim probleminin istatistiksel açıdan lineer olmayan bir optimizasyon problemi olduğu kabul edilir ve harita üretimi en büyük olasılıklı olabilirlik kestirimi (*maximum likelihood*) ile gerçekleştirilebilir. Harita üretimini temel olacak konum bilgileri de konum/detay

grafığından (*pose/feature graph*) elde edilebilir. Konum/detay grafiğinin düğümlerinin (*node*) konumları çevrim kapanmalarındaki (*loop closing*) kısıtlamalarda en küçük hata oluşacak şekilde kestirilir. (Güney 2016)

“GeoRoSS”un madende yalnız başlangıç konumu WGS84 datumunda 3B olarak belirli olup hedef konumu belirsizdir. Bu nedenle ortamın haritasını üretmek için de SLAM yöntemlerinden olan ve ROS platformunda kullanılabilen “*gridMapping (gMapping)*”, “*hectorMapping*” gibi algoritmalar kullanılmaktadır.

Konum ve duruş kestirimi için lazer mesafe bulucu duyargası verilerini kullanan ‘*Laser Scan Matcher (LSM)*’ yöntemi “*sensor\_msgs/LaserScan*” düğümü üzerinden kullanılmaktadır. Robotun ötelemesi ve dönüklüğüne ilişkin bilgi üreten tarama eşleme (*scan matching*) tabanlı LSM yöntemi “*Iterative Closest Point – ICP*” yöntemini temel almaktadır. Farklı duyargalardan elde edilen odometri bilgilerinin birleştirilip daha iyi bir odometri bilgisi üretmek için ‘*Robot Pose EKF (RPE)*’ yöntemi kullanılmıştır. SLAM algoritması olarak ROS ortamında etkin olarak çalışabilen ‘*gridMapping (gMapping)*’ algoritması “*slam\_gmapping*” düğümü üzerinden harita üretimi için koşturulmaktadır. *gMapping*, lazer verileri kullanarak harita üreten Rao-Blackwellized parçacık filtresi tabanlı oldukça verimli bir algoritmadır. Robotun navigasyonu için bir ROS paketi olan ve “*Augmented Monte Carlo Localization (AMCL)*” temelli çalışan ‘*navigation stack*’ paketi kullanılmaktadır. ‘*Navigation Stack*’ paketi yardımıyla maliyet haritaları (*CostMap*) da yapılandırılmaktadır (Güney vd., 2015b). Mekansal modeller, ortamın geometrik özelliklerini doluluk-boşluk yaklaşımıyla görselleştiren grid tabanlı metrik haritalar ve farklı yerlerin bağlantı özelliklerini tanımlayan topolojik haritalar biçiminde üretilmektedir. (Güney 2016) Şekil 3 iki farklı lazer tarayıcı ile üretilen mekansal modelleri göstermektedir.



Şekil 3. 'GeoRoSS' lazer tarama işlemini uygulamasının görselleştirilmesi

Bu çalışmada ortamda yer alan engellerin belirlenmesinde kısa mesafeli lazer mesafe bulucu SICK LMS 511 PRO ve Mti-G-700 atalet duyargası birlikte kullanılmaktadır. Sözü edilen lazer mesafe bulucu ile mobil robotun hareket halindeyken karşılaştığı engellere ve ortamdaki nesnelere olan uzaklıklar belirlenmektedir. Elde edilen sonuçlar uzak bilgisayarda ROS araçlarından olan "rviz" uygulamasında görselleştirilmektedir. (Güney vd., 2015b)

#### 4 MÜHENDİSLİK ÖLÇMESİ

Geliştirilmekte olan 'GeoRoSS'un amacı öncelikle yer altı madenlerinin 3B dijital mekansal modellerini üretmektir. Bunun için 3B lazer tarama teknolojisi ile üretilen nokta bulutları kullanılmaktadır. Farklı nokta bulutlarının karşılaştırılmasında diğer duyargalar tarafından üretilmiş olan navigasyon bilgileri kullanılmaktadır. Nokta bulutların tek bir koordinat sistemi içerisinde birleştirilmesi yer altı ortamının 3B haritasının üretilmesinde geometrik altlığı oluşturmaktadır. Nokta bulutu verileri yoğun ve büyük miktarda olduğundan robot üzerindeki yerleşik bilgisayarda 3B modeli gerçek zamanlı üretmek rasyonel olmayacaktır. Robot üzerindeki yerleşik bilgisayar diğer duyargaların ürettiği veriler ve navigasyon işi ile ilgilenmektedir. Ek olarak iyi bir GPU desteği gerektiren nokta bulutu verilerinden 3B modelin üretilmesinin

gerçek zamanlı olarak yapılması da istenirse hesaplamada sıkıntılara yol açabilecektir. Bu nedenle sistem ölçme işini tamamladıktan sonra kaydettiği nokta bulutu verileri çakıştırılarak 3B model oluşturulmaktadır. Lazer tarama ile elde edilen 3 boyutlu nokta bulutlarının değerlendirilmesinde ve birleştirilmesinde farklı yöntem ve algoritmalar üzerinde çalışılmıştır.

Yersel Lazer Tarayıcı (*Terrestrial Laser Scanner*, (TLS)) ile elde edilecek nokta bulutlarından 3 boyutlu modellemenin yapılmasındaki kritik nokta çoklu 3 boyutlu görüşlerin (*multiple 3D views*) yüksek doğrulukla çakıştırılabilmesidir. Her bir tarama kendi koordinat sisteminde olmasına karşın tüm taramaların tek bir koordinat sisteminde birleştirilebilir olması gerekmektedir. Farklı tarama noktalarından yapılan taramalardan elde edilen nokta bulutlarının ilişkilendirilmesinde, bir diğer ifadeyle nokta bulutlarının referans koordinat sisteminde birleştirilmesinde *multi-view surface matching*, *Iterative Closest Point (ICP)*, *Least Square 3D matching*, *Independent Model Triangulation* ve *direct georeferencing* gibi algoritmalar ve yöntemler kullanılmaktadır. (Kaushik vd. 2009)

ICP yönteminde nokta bulutları arasındaki 3B dönüşüm parametreleri yinelemeli (*iterative*) olarak araştırma ve referans nokta kümeleri arasında Öklid mesafesi en kısa



olan eşlenik noktalar kullanılarak üretilmektedir. ICP yöntemi, yaklaşık yöneltmesi yapılmış nokta bulutlarının dönüşüm parametrelerinin hesaplanmasında en çok kullanılan yöntemdir. Yoğun hesaplama gerektirmesine rağmen kolay uygulanabilmesi ve yüksek doğrulukta sonuç vermesi nedeniyle lazer taramaların eşleştirmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Nokta bulutundaki noktalar seyrek ya da gürültü içeriyorsa ICP algoritması ile yapılan eşleştirme sıkıntılı olacaktır. Mobil platform sürekli hareket modunda ölçme yaparak ilerliyorsa nokta bulutları uygun bir biçimde çakışmazsa yine uygulanacak birleştirme algoritmalarında sıkıntılar oluşacaktır. Mobil robotun odometri bilgisi ile üretilen robot pozunun kestirimi ve bir çift 3B nokta bulutu girdileri ICP algoritmasında gözden geçirilip düzeltilerek ikinci taramanın 3 öteleme ve 3 dönüklük olmak üzere 6 parametre ile birinci taramanın koordinat sistemine dönüşümünü gerçekleştirir. Ancak, tarama sayısı ve dolayısıyla taramaların çakıştırılma sayısı arttıkça hata birikimi oluşmaktadır. Bu durumda SLAM algoritması çevrim kapanmalarını bu hatanın minimumda kalmasını sağlamak için kullanılmaktadır.

ROS platformu; C++ kütüphaneleri olan OpenCV, Point Cloud Library, Qt, 3D Object-Oriented Graphics Rendering Engine, Mobile Robot Programming Toolkit gibi robotik orta katman uygulamaları (*middleware applications*) ile uyumlu çalışabilmektedir. ROS ile uyumlu bir şekilde çalışan “*Open Source Computer Vision (OpenCV)*” kütüphaneleri, algoritmaları ve araçları bu proje kapsamında görsel bir kamera sistemde bulunmadığı için kullanılamamaktadır. Onun yerine yine ROS ile uyumlu olan “*Point Cloud Library (PCL)*” kullanılmaktadır. PCL nokta bulutuna ilişkin algoritmalar ve kütüphaneleri sağlamaktadır. Bu kütüphanelerle filtreleme, nokta bulutu çakıştırma (*registration*), detay yakalama (*feature detection*) yapılabilmektedir (URL 2). 3B görüntü işleme kütüphanesi olan PCL C++ diliyle geliştirilmiştir ve Berkeley

Software Distribution (BSD) lisansı ile açık kaynak kodludur.

## 5 MEKANSAL KARAR DESTEK

Elde edilen yüksek çözünürlüklü 3B nokta bulutu verilerinin birleştirilmesinden (*ground-truth data set*) sonra insanlar için erişimi zor veya riskli ortamlar hakkında boyut, hacim ve topoğrafya gibi mekansal bilgiler, modeller ve yer altı haritaları üretilebilmekte ve yer altı ortamlarının 3B geometrisi sanal ortamda karar-vericilerin kullanımı için oluşturulabilmektedir. Birleştirilen nokta bulutlarından oluşturulan 3B modeller üzerinden doğrudan ölçme yapılabilmekte, mesafe ölçülebilmekte, kesitler alınabilmekte, alan ve hacim hesaplamaları gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca 3B modeller tavan yüksekliklerinin belirlenmesi ya da madenden çıkarılan maddelerin miktarlarının hesabında kullanılacak ölçüler gibi 2B harita üzerinde yapılması mümkün olmayan ölçülerin de gerçekleştirilmesini olanaklı hale getirmektedir.

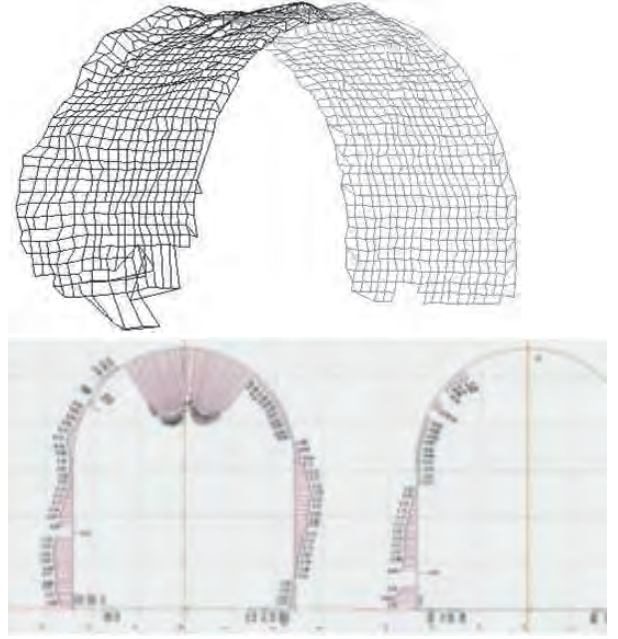
Yeraltı ortamının haritası üretilmesinin yanında tahkimat sistemlerine yönelik deformasyon ölçmeleri de 3B lazer tarama teknolojisi ile gerçekleştirilebilmektedir. Zeminin fiziksel özellikleri, bölgedeki yerkabuğu hareketleri, jeolojik ve atmosferik bazı etmenler, suyun dinamik basıncı gibi faktörlerden dolayı maden ocağında veya çevresinde meydana gelen geometrik şekil değişimlerine deformasyon denir (Seydanoğlu, 2009). Yeraltı madencilğinde üretimin kesilmeden devam edebilmesi ve iş güvenliğinin sağlanabilmesi için önemli konulardan biri de tahkimat işidir. Tahkimat deformasyonunun ve emniyet gerilmelerinin izlenmesi yer altı çalışmalarında önemli bir yer tutmakta ve yapılması zaman ve emek gerektirmektedir (Aksoy ve Onargan, 2012). Tahkimatların sürekli ve dinamik olarak otomatik biçimde ölçülmesi ve deformasyonlarının 3B modeller üzerinden belirlenebilmesi maden işletmeleri açısından çok önemlidir. Tünel, galeri vb. ortamlarda kullanılan tahkimatların deformasyonlarının izlenerek çökme yaşanmadan püskürtme

beton vb. yöntemlerle güçlendirilebilmesi maden işletmelerinde üretimin kesintiye uğramadan veya tamamen durmadan ve can kaybı olmadan devam edebilmesini sağlayacaktır. Ayrıca tahkimatın ve çevresinin 3B mekansal modeli benzer formasyonlar için bir örnek teşkil edeceğinden yeni bir bölgede ve benzer formasyonda nasıl bir tahkimat sistemi ve yapısı kurulacağı önceden bilinecektir. Emniyet gerilimlerinin zaman içerisindeki değişimleri analiz edilebilir, aynı madenin içerisinde belirli yapı ve formasyonlar için bir tahkimat prototipi oluşturulabilir. 3B ölçme sisteminin sağlamış olduğu bu faydalar hem iş güvenliğini arttıracak hem de ekonomik açıdan büyük katkı sağlayacaktır.

Tahkimat davranışlarının beklenen modeli izleyip izlemediğinin kontrolü yeraltı maden ocağının üretilen 3B modeli üzerinde tahkimat sistemlerinin farklı zamanlarda yapılan 3B taramaları arasındaki geometrik değişimler izlenerek gerçekleştirilebilir. Tahkimat deformasyon analizinde beklenmeyen deformasyonların erken dönemde fark edilebilmesi maden işletmesi ve maden çalışanları açısından çok önemli bir bilgidir. Ancak her hareket deformasyon olarak tanımlanamaz. Yapılan analizler ve uygulanan testler sonrasında, hareket değerlerinin anlamlı bir sonuç olarak yansımaları ile bu hareketlerin deformasyon olduğu sonucuna ulaşılabilir. Hareketli ölçme platformu tarafından belirlenen yer değiştirmenin karar-destek sisteminde deformasyon olarak belirlenmesinden sonra hangi bölgelerde güçlendirilme yapılacağına, kazı-dolgu durumlarına, da sonraki aşamaya geçiş konusunda projenin işleyişine direkt etki edecek kararlar verilebilir hatta bu sonuçlara göre projede revizyon dahi yapılabilir. Jeodezik tekniklerle gerçekleştirilen deformasyon ölçmeleri jeodezik verilerle bir karar-destek sürecinde birlikte kullanıldıklarında yalnız deformasyon miktarı değil, deformasyonun neden kaynaklandığı sorusuna da cevap bulunabilir.

3B lazer tarama tekniği sayesinde galerilerde bulunan tüm çatlak ve yarıklar tespit edilip kayıt edilebilmektedir, önceki taramalarla karşılaştırılıp önlem alınması

gereken alanlar belirlenebilmektedir. Böylece deformasyon ve deplasman hareketleri 3B dijital model üzerinde belirlenebilmekte, eğer artan bir ivme ile yer değiştirme söz konusu ise göçükler olmadan önce riskli alanlar saptanabilmekte ve gerekli tedbirler alınarak maden kazaları önlenmektedir. Şekil 4'de görüldüğü üzere çökme ve genişleme biçiminde olabilecek deformasyonlar ölçmeler ile saptanabilir ve CAD/GIS tabanlı yazılımlarda değerlendirilebilir.



Şekil 4. Profil tarama ve CAD/GIS yazılımı ile birlikte geometrik analiz

Isıl görüntüleyicinin lazer tarama cihazı ile birlikte eş zamanlı çalışması nokta bulutlarının yanı sıra ortamda bulunan yüzey sıcaklıklarına göre oluşan kızılötesi ışınımından termografik görselleştirilmeler gerçekleştirilerek önemli bilgilerin ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Yer altı ortamları aydınlık ortamlar olmaması ve ortamda toz ve su partiküllerinin yoğun bulunması görünür ışıkta çalışan kameraların yer altı madenlerinde etkin biçimde kullanılmasını engeller, bu nedenle proje konusu uygulamada elektromanyetik dalgalarla ışık enerjisinin algılanıp ölçüldüğü ısı görüntüleme yöntemi tercih edilmektedir. Yer altı ortamlarının tozlu ortamlar olması nedeniyle de toz partiküllerinin içinden geçebilen 7-14  $\mu\text{m}$  dalgaboyu aralığında uzun dalga boylu elektromanyetik dalga

ışınımı yapan ısı algılayıcı (*thermal/infrared camera*) kullanılmaktadır. Isıl görüntüleme (*thermal imaging*) tekniğiyle oluşturulan görüntüler (*thermogram*) cevher ortamında bulunan jeolojik ve yapay detayları çıkarma (*material detection*), cevher sınırları belirleme gibi farklı uygulamalarda ve örüntü yakalama amacı ile kullanılabilir. Cisimlerin ısı ışınımı sahip oldukları sıcaklığa göre farklılık gösterdiğinden toprak, kayaç, cevher ve diğer detaylarda bulunabilecek anomaliler tespit edilebilir ve böylece yapılacak hızlı analizler ile karar-destek sürecinde kullanılacak mekansal altlıklı yer altı maden termografisi oluşturulabilir. Çalışma kapsamında TLS cihazı ile bir koordinat sisteminde üretilen vektör yapısındaki 3B nokta bulutu verileri, cisimlerin ısılarına göre yayılan kızıl ötesi ışınlarla oluşturulan termal görüntülerle birleştirilmekte/kaplanmakta (*rendering*) ve modeli görünüm (*appearance*) olarak zenginleştirilmektedir. Böylece madenin 3B ısı haritası (*3D thermal map*) üretilmektedir.

Tekerlekli bir robot üzerinde bulunan sözü edilen farklı tür algılayıcılardan elde edilen değişik türdeki veriler tek bir global jeodezik koordinat sisteminde yer altı ortamlarının yüksek çözünürlüklü geometrik modeli ile bütünleştirilmekte ve jeolojik ve/veya yapay detaylar (*natural and man-made geologic features*) GIS ortamında kullanılmak üzere detay bilgisi (*feature-based*) biçiminde bir mekansal veritabanında (*spatial database, geodatabase*) uygun mekansal veri yapıları kullanılarak depolanmaktadır. Böylece maden işletmecileri, maden mühendisleri gibi farklı düzeydeki kullanıcılar Mekansal Bilgi Sisteminde üretilen bu çok fonksiyonlu modeli karar-destek süreçlerinde kullanabileceklerdir. Yüksek çözünürlüklü yüzey modelleri (*high-resolution surface models*) üzerinde gerilme ve deformasyon gibi mekansal analizler gerçekleştirilebilecek, yüzey modelleri termal görüntülerle kaplanabilecek (*rendering*) ve jeolojik sorgulamalar yapılabilecektir. (Güney vd., 2015a)

## 6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeni nesil madencilik anlayışına uygun olarak madencilik sektöründe insansız üretim ve uzaktan kumandalı üretim yaklaşımına dayalı ‘GeoRoSS’ gibi akıllı sistemlerin (*intelligent systems, autonomous systems*) kullanımı ile işçi sağlığı ve iş güvenliğinde çok büyük oranda iyileştirme sağlanabilir, emniyetli/güvenli bir çalışma ortamı oluşturulabilir, üretim artırılabilir, işletme maliyetleri düşürülebilir, iş kazalarından kaynaklanan harcamalar azaltılabilir, emek yoğun işlerin daha hızlı tamamlanmasını sağlanabilir ve maden cevherinin verimli bir biçimde üretilmesine katkı verilebilir.

‘GeoRoSS’un amacı yer altı maden ocaklarının fiziksel durumlarını dijital ortamda tekrar oluşturmak ve zaman içerisindeki deformasyonları sanal maden üzerinde izleyebilmek ve riskli alanları maden mühendisleriyle paylaşarak çökme olmadan önce önlem alınabilmesini sağlayabilmektir.

Türkiye’de sıklıkla yaşanan afetler ve maden kazalarından dolayı ülkedeki robot geliştirme çalışmaları ve uygulamaları çoğunlukla arama-kurtarma faaliyetlerine yönelmiştir (*rescue robots*). Bu akımın tersine ‘GeoRoSS’ bir arama-kurtarma robotu olarak tasarlanmamış ve geliştirilmemektedir. Arama ve kurtarma robotlar kaza olduktan sonra afet anındaki müdahaleler için geliştirilmektedir. ‘GeoRoSS’ ise maden kazaları olmadan, bu kazaların yaşanmaması için özellikle tahkimat sistemlerinin izlenmesinde etkin olarak kullanılabilir. Ayrıca maden kazası öncesinde ‘GeoRoSS’ tarafından üretilmiş olan madenin 3B mekansal modeli, kaza sonrasında arama-kurtarma çalışmalarının planlanmasında ve yürütülmesinde önemli bir mekansal altlık ve karar-destek altyapısı oluşturacaktır.

Madencilik faaliyetleri, genelde şartları sürekli değişkenlik ve belirsizlik gösteren jeolojik ortamlarda sürdürülmektedir. Madencilik sistemlerinin, otomatik olarak işleyen yapılardan çok bu belirsizlikleri fark edip üstesinden gelebilecek, dayanıklı, aynı zamanda değişken düşünebilme yeteneğine sahip “akıllı/otonom madencilik sistemleri”

olmaları gerekmektedir. (Güney vd., 2015a) Sözü edilen bu yetenek ‘GeoRoSS’ gibi robotik sistemlere makine öğrenmesi (*machine learning, deep learning*) ve yapay zeka (*artificial intelligence*) desteğinin sağlanması ile gerçekleştirilebilir. Yapay zeka alanındaki sağduyu/hayat bilgisi (*common-sense knowledge*) ile nesne sınıflandırmasının kullanılabileceği semantik haritalar çalışma kapsamında ifade edilen görevlerin daha etkin şekilde yerine getirilmesini sağlayacaktır. (Güney 2016)

Günümüzde bilgisayar, cep telefonu gibi teknolojik ürünlerin üretiminde kullanılan değerli maden kaynaklarının hızla tükeniyor olması nedeniyle bu tür malzemelerin Ay ve/veya asteroitlerden temin edilmesine yönelik olarak uzay madenciliği çalışmalarını başlatmış ve bu çalışmalar gelişmiş ülkelerin özel sektörleri tarafından yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Bu nedenle ‘GeoRoSS’ vb. otonom madencilik sistemlerine yakın gelecekte yeryuvarı dışında da gereksinim duyulacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi Tezleri Programının 0548.STZ.2013-2 kodlu SAN-TEZ projesi, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu TÜBİTAK 115Y354 projesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi ile Solvotek Mühendislik ve Bilişim Hizmetleri tarafından desteklenmektedir. Projeye ilgili detaylı bilgi <http://www.geo.itu.edu.tr/geoross/> adresinde bulunmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Aksoy, C. O., Onargan, T., 2012, Yeraltı Yapıları ve Tahkimat Tasarımı, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
- Durrant, H., Bailey, T., 2006, Simultaneous Localization and Mapping, *IEEE Robotcs & Automation Magazine*, 99-108.
- Eliazar, A., Parr, R., 2003, DPSLAM: Fast, Robust Simultaneous Localization And Mapping Without Predetermined Landmarks, *the Eighteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Meksika.

- Güney, C., Sayın, S.B., Sayın, B., 2015a, Madencilik Ölçmelerinde Robotik Bir Yaklaşım: “GeoRoSS”, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 25-28 Mart, Ankara.
- Güney, C., Sayın, S.B., Sarıel, S., 2015b, Madencilik Sektöründe Robotik Ölçme Sistemi ile 3B Haritaların Üretimi, *Türkiye Robotbilim Konferansı - ToRK2015*, 26-27 Ekim, İstanbul.
- Güney, C., Sayın, S.B., 2016, Jeodezik Ölçme Ve Mekansal Karar Destek İçin Robotik Bir Yaklaşım, *XVIII. Akademik Bilişim Konferansı - AB2016*, Adnan Menderes Üniversitesi, 30 Ocak - 5 Şubat, Aydın.
- Güney, C., 2016, Gezgin Robotların Lokalden Globale Geçebilmesi için Geomatik, *Türkiye Robotbilim Konferansı - ToRK2016*, 2-3 Kasım, İstanbul
- Kaushik, R., Xiao, J., Morris, W., Zhu, Z., 2009, 3D Laser Scan Registration of Dual-robot System using Vision, *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, ABD.
- Montemerlo, M., Thrun, S., Koller, D., Wegbreist, B., 2003, An Improved Particle Filtering Algorithm For Simultaneous Localization And Mapping That Provably Converges, *the Eighteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Meksika.
- Schulz, T., 2013, Man vs. Machine: Are Any Jobs Safe from Innovation?, *Spiegel*
- Seydanoğlu A., 2009, Metro Tünellerinde Deformasyon Ölçmeleri 4.Levent-Ayazağa Örneği, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ
- Smith, R., Self, M. and Cheeseman, A., 1987, A Stochastic Map For Uncertain Spatial Relationships, *Fourth International Symposium of Robotics Research*, 467-474
- URL 1, Clearpath Robotics  
<http://www.clearpathrobotics.com/husky-ugv/>
- URL 2, Point Cloud Library web sayfası,  
[www.pointclouds.org](http://www.pointclouds.org)
- URL 3, ROS – ROSBridge  
[http://wiki.ros.org/rosbridge\\_suite](http://wiki.ros.org/rosbridge_suite)

# Koruyucu Adlı Yeni Nesil Hafif Tam Mekanize Kalkan Tipi Tahkimat'ın Yeraltı Kömür Ocaklarına Yönelik Olarak Tasarlanması

## *Designing a New Generation Lightweight Full Mechanized Shield Type Hydraulic Supported for Underground Coal Mines*

H. E. Yaman

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir*

C. O. Aksoy

*COA AR-GE Danışmanlık Madencilik Mühendislik Müşavirlik Yazılım İnşaat ve Sanayi Ltd. Şti.*

S. Bahçekapılı

*S-Tech Madencilik Makine Enerji Endüstri A.Ş.*

**ÖZET** Ülkemizde yeraltı kömür ocaklarında son dönemde yürüyen tahkimatlar çok sık kullanılır hale gelmiştir. Yürüyen tahkimatların tamamı ithal edilmektedir. Hali hazırda, ülkemizde yürüyen tahkimatların tasarımı hakkında herhangi bir bilgi üretimi bulunmamaktadır. Bilgi birikimi olmadığı gibi, üretime yönelik bir çalışmada bulunmamaktadır. İthal edilen yürüyen tahkimatlar genelde teknolojisinin geliştirildiği ülkedeki yeraltı kömür ocaklarının şartlarına göre dizayn edilmişlerdir. Oysaki her maden farklı şartlara sahiptir ve özel gereksinimleri vardır. Bu açıdan bakıldığında, ithal edilen bu yürüyen tahkimatlar çoğunlukla ülkemiz madenlerine uyum sağlayamamakta, ek olarak da yurt dışına döviz çıkışına neden olmaktadır. Bu araştırmada, KORUYUCU adı verilen ve ilk kez Türk Mühendisler tarafından tasarımılandırılan yeni nesil tam mekanize hafif yürüyen tahkimatın prototipi üretilmiştir. Bu makalede ise KORUYUCU'nun tasarım ve üretim aşamalarından bahsedilmektedir.

**ABSTRACT** In our country, the mechanized supports in underground coal mines have been most frequently used. All of mechanized supports have been imported. Any information productions about the design of mechanized supports in our country have not been yet. As there has been no background knowledge, there has not been work for production, too. In general, the imported mechanized supports have been designed according to the conditions of underground coal mines in the countries in which the technology is developed. Yet, every mine has different conditions and specific necessities. When considered this point of view; mostly, these imported mechanized supports can not comply with mines in our country and also, it have caused outflow of foreign currency from our country. In this research; the prototype of the new generation fully mechanized lightweight hydraulic mechanized support which called as KORUYUCU and designed by Turkish miners and Turkish Engineers for the first time, have been produced. And, in this paper; it have been mentioned about design and production stages of KORUYUCU.

# 1 GİRİŞ

## 1.1 Tahkimat Tanımı

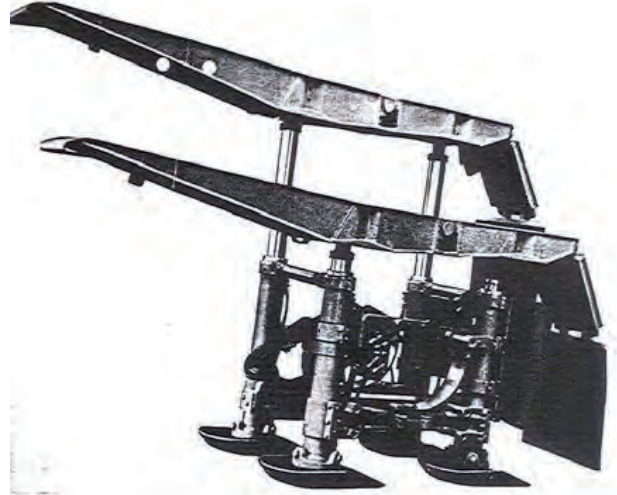
Genel hatlarıyla tahkimat, maden ocağında oluşturulan galeri, kuyu ve üretim yerlerini can ve mal güvenliği bakımında çalışır durumda tutmak için yapılan ağaç, beton veya çelikten üretilen malzemelerdir. Bu malzemelerin belli başlı ortak özellikleri vardır. Yüksek miktarlarda yük taşıyabilmeleri, esnek olmaları ve hem maden açıklıklarında hem de tahkimatın kendi üzerinde oluşan deformasyonlara minimum düzeyde izin vermeleri, bunların başında gelir.

## 1.2 Mekanize Tahkimat

Madencilik, diğer her bilim dalında da olduğu gibi, teknolojiye ve çağın gerektirdiklerine ayak uydurması gereken ve bu yolda ilerleyen bir bilim dalıdır. Bu doğrultuda uzun ayak madenciliğinde üretim hızını ve üretim miktarını daha güvenli bir biçimde artırmak ve çağın gerektirdiği koşullarda üretim yapmak için bazı revizyonlara gidilmiştir. Mekanize tahkimatlar bu revizyonların başında gelmektedir. Yirminci yüzyılın ortalarında geliştirilmeye başlanan mekanize tahkimatları gelişme sırasına göre üç başlık altında toplayabiliriz.

### 1.2.1 Çerçeve Tipi Mekanize Tahkimat

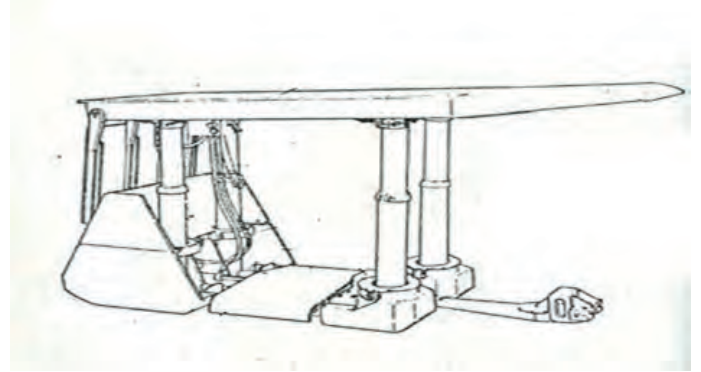
Çerçeve tipi mekanize tahkimatlar yürüyen tahkimatların ilk şeklidir (Şekil 1.1). Tek veya iki sarmayı destekleyen hidrolik direklere sahiptirler. Tabanlarında bir şase bulunur. Eğer çerçeve tipi tahkimatın iki sarmalı varsa, bu sarmallar birbirine mafsal ile bağlıdır. Bunlara ek olarak çeşitli aralıklarla yerleştirilen ayna konveyörü itme ve tahkimat ilerletme düzenekleri mevcuttur (Ahıska T., Esen Y., 1987)



Şekil 1.1 Çerçeve tipi mekanize tahkimat (URL-1)

### 1.2.2 Domuzdamı Tipi Mekanize Tahkimat

Domuzdamı tipi mekanize tahkimatlarda genelde tek ve geniş alanlı bir sarma vardır ve bu sarma dört veya altı adet hidrolik direk ile desteklenmiştir. Çerçeve tipi tahkimatta olduğu gibi domuzdamı tipi tahkimatta da tabanda bir şase bulunur. Tahkimat yürütme ve ayna konveyörü itme ekipmanları bu şaseye bağlıdır.



Şekil 1.2 Domuzdamı Tipi Yürüyen Tahkimat (Ünver Ö. t.y.)

### 1.2.3 Kalkan Tipi Mekanize Tahkimat

Kalkan tipi mekanize tahkimat, çerçeve tipi ve domuzdamı tipi mekanize tahkimatlarda yaşanan sorunlar neticesinde geliştirilen bir tahkimat türüdür. Diğer türlerde göçük hattı ayağın yaklaşık dört metre gerisinde olduğu için ayak arkasının göçertilmesi işlemi gecikir. Dolayısı ile tahkimat ünitelerine binen yük artar ve bu da

tahkimatın deformasyona uğramasını kolaylaştırır. Kalkan şeklinde tasarlanan tahkimatlarla göçüğün ayağın hemen arkasında oluşması sağlanmıştır.



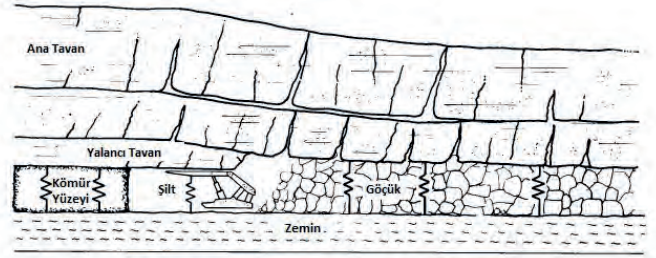
Şekil 1.3 Kalkan Tipi Mekanize Tahkimat

## 2 MEKANİZE TAHKİMAT TASARIMI

Uzun ayaklarda tahkimat seçimi ve tasarımı genel olarak panolar oluşturulurken katmanların deformasyon davranışına göre yapılır. Uzun ayağa kurulan tahkimatlar ayak tavanının kapelere temas eden yüzeylerinde ve tahkimat tabanının yere temas eden yüzeylerinde bu deformasyonlara yanıt olarak bir yük geliştirir. Yalancı tavan normal kaya kütesinden daha zayıftır ve tahkimat ilerledikten sonra çöker. Tahkimat ocak tavanından ayrılan ve kömür veya göçükle desteklenmeyen bu yalancı tavanın ağırlığını taşımak zorundadır. Katman hareketleri nedeniyle hem yatay hem de düşey yükler tahkimata yüklenir.

Şekil 2.1’de ayaklarda tavan davranışı ve tahkimat yüklemesi örneği gösterilmiştir. Sadece kullanılan tahkimata bütün yükü bindirmek doğru değildir. Kömür tabakası ve göçük de tahkimata yardımcı unsurlardır. Genel olarak bakıldığında, kömür tabakasının, tahkimatın ve göçüğün üzerine gelen yük miktarları bu destek elemanlarının dayanımlarına bağlı olarak dağıtılır. Katman kontrolü açısından bakıldığında, şilt dayanımı kömür ve göçük dayanımından bir derece daha az olduğu kabul edilmelidir ki

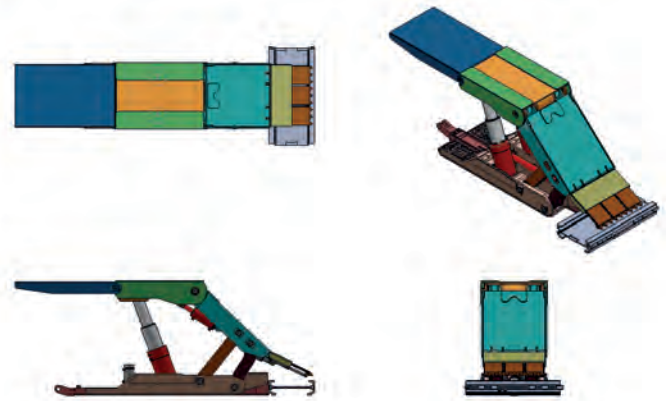
bu da asıl tahkim yapan elemanın şilt olmadığı bir kanıttır.



Şekil 2.1 Tavan davranışı ve tahkimat yüklenmesi (Barczak T., 1992)

## 2.1 Koruyucu Tasarımı

Analizleri uygulamış olduğumuz kalkan tipi mekanize tahkimat, KORUYUCU adı verilen bir mekanize tahkimattir. Tahkimatın ön kapesi 1600 mm, kalkanı 1260 mm, arka kapesi 1260 mm, temel çerçevesi 2552mm ve teleskopları maksimum seviyede iken 1800 mm uzunluğundadır. Teleskopların minimum seviyede açık olması durumunda tahkimat 800 mm yüksekliğinde olmaktadır. Şekil 2.2’ de bu tahkimatın üç boyutlu görünümü verilmiştir.



Şekil 2.2 KORUYUCU isimli mekanize tahkimat

## 3 TAHKİMAT ANALİZLERİ

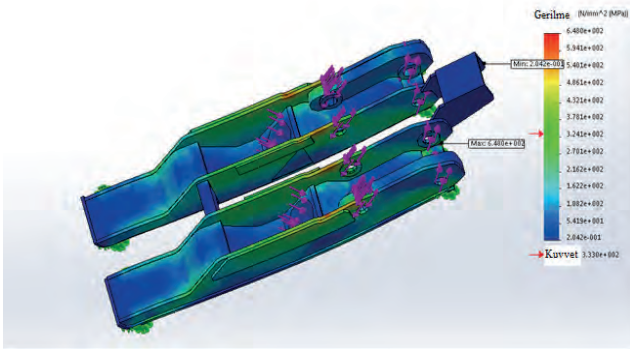
Malzemenin yenilme gerilmesi, analiz sonuçlarını gösteren şekillerdeki skalanın üst sınırının üzerinde ise, malzeme güvenli bölgede demektir. Kullanılan malzemelerin özellikleri aşağıdaki çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Analizlerde kullanılan materyallerin özellikleri

Malzeme Adı	Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Gerilmesi (MPa)	Materyal Kalınlığı (mm)
S690 QL	7.8	690	20
S355 J2+N	7.6	333	20
HARDOX 400	8.1	1000	20

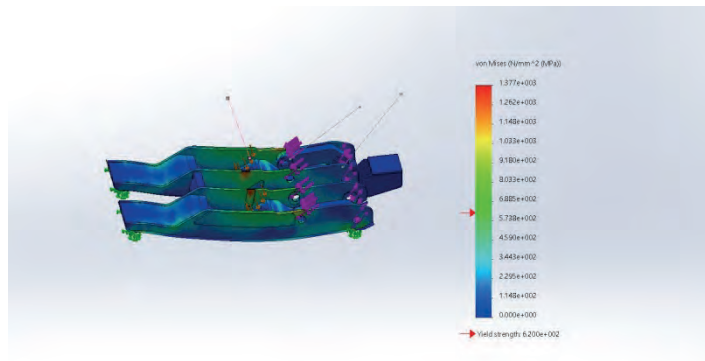
### 3.1 Temel Çerçeve

Temel çerçeveye etki eden yük noktalarında basma ve çekme gerilmeleri analizleri yapılmıştır.



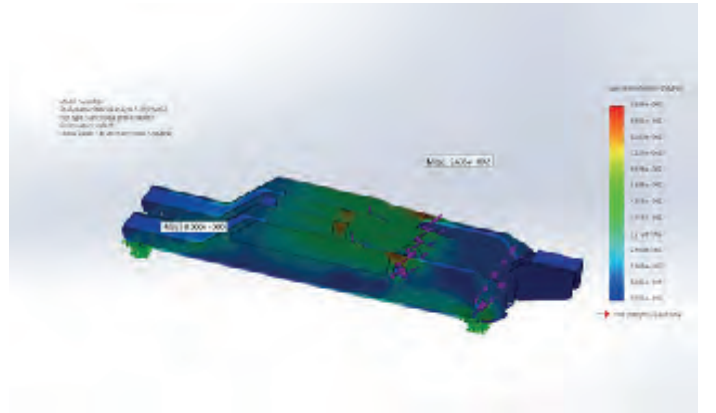
Şekil 3.1 Temel çerçeve basma ve çekme analizleri

Bu test sırasında nihai çekme gerilmesi 333 MPa olan S355 J2+N materyali kullanılmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi, test sırasında, teleskopların olduğu yere gelen gerilmeler uygun değildir. Dolayısıyla nihai çekme gerilmesi daha yüksek olan S690 QL malzemesi kullanılması daha uygundur. Şekil 3.2 'de S690 QL malzemesi kullanılarak yapılan analizlerin sonucu verilmektedir.



Şekil 3.2 S690 QL malzemesi kullanılarak yapılan temel çerçeve analizleri

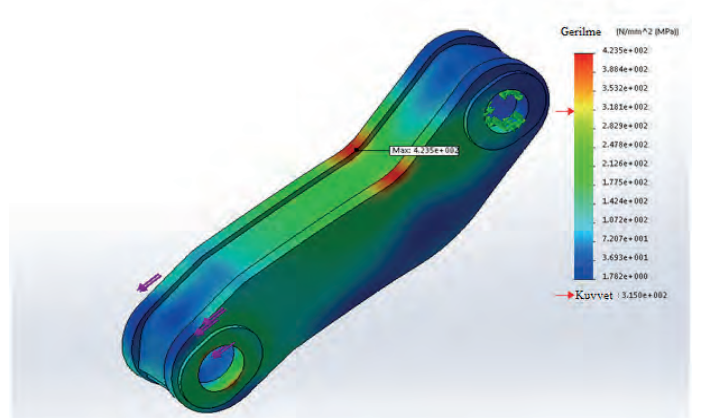
Bu test sırasında nihai çekme gerilmesi 690 MPa olan S690 QL malzemesi kullanılmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi malzeme S355 J2+N malzemesine nazaran daha sağlam ve esnek bir malzemedir fakat teleskop yerlerinde hala sıkıntılar olduğu gözlemlenmektedir. Dolayısıyla alt tablanın teleskop yerlerine daha güçlendirilmiş bir malzeme kullanmak bu sorunu çözecektir. Şekil 3.3'te alt tabla için S690 QL malzemesi kullanılıp, teleskop monte yerlerinde HARDOX 400 malzemesinin kullanıldığı yük analizleri verilmiştir.



Şekil 3.3 Alt tabla S690 QL teleskop yerleri HARDOX 400 malzemesi kullanılarak yapılan analizler

### 3.2 Arka Lemniskata

Arka lemniskata etki eden gerilme, çekme gerilmesi şeklindedir. Şekil 3.4'de yapılan analizlerin sonucu verilmektedir.



Şekil 3.4 Arka lemniskata uygulanan çekme gerilmesi analizi sonucu

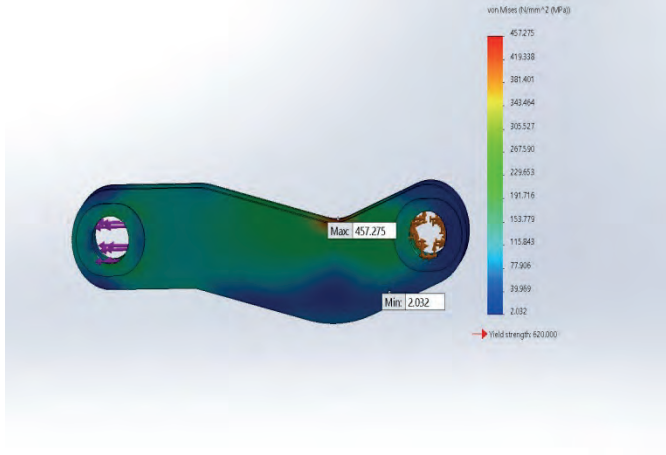


Bu test sırasında nihai çekme gerilmesi 333 MPa olan S355 J2+N materyali kullanılmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi test sırasında materyal uygunluk gösterememiştir. Bu nedenle nihai çekme gerilmesi minimum 450 MPa olan bir materyal seçilmelidir. Seçilen malzeme nihai çekme gerilmesi 690 MPa olan S690 QL malzemesidir. Şekil 3.5'te bu malzemenin analiz sonuçları verilmektedir.

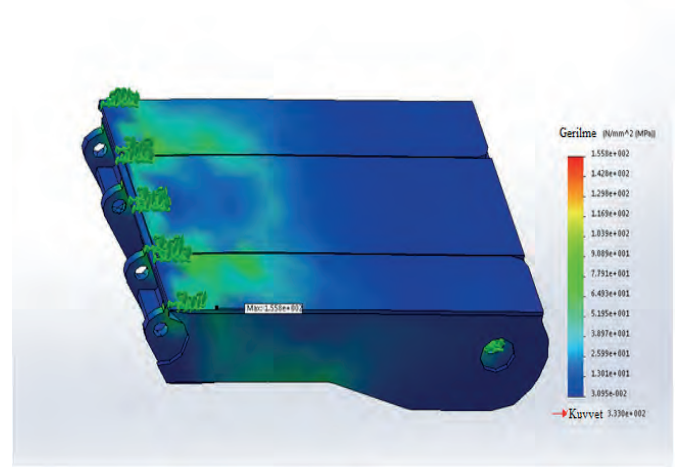
Bu test sırasında nihai çekme gerilmesi 333 MPa olan S355 J2+N materyali kullanılmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi bu materyal uygunluk göstermektedir ve güvenli bölgededir.

### 3.4 Arka Kape

Kapelere çekme gerilmesi ve burkulma analizleri yapılmıştır. Şekil 3.7'de ve şekil 3.8'de analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.5 S690 QL malzemesi kullanılarak yapılan analiz

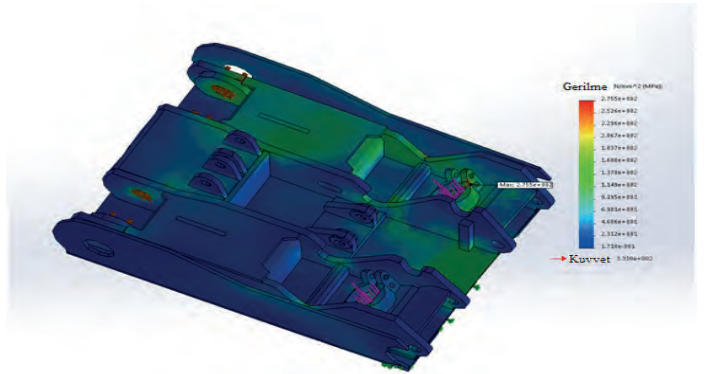


Şekil 3.7 Arka apeye yapılan çekme gerilmesi analiz sonucu

Şekilde de görüldüğü gibi bu malzeme analizler sonucunda normlara uygun davranmıştır ve güvenli bölgededir.

### 3.3 Kalkan

Ön ve arka lemniskatlar yük altındayken tahkimat kalkanına bir çekme gerilmesi etki etmektedir. Bu gerilmenin analiz sonucu şekil 3.6 'da verilmiştir.

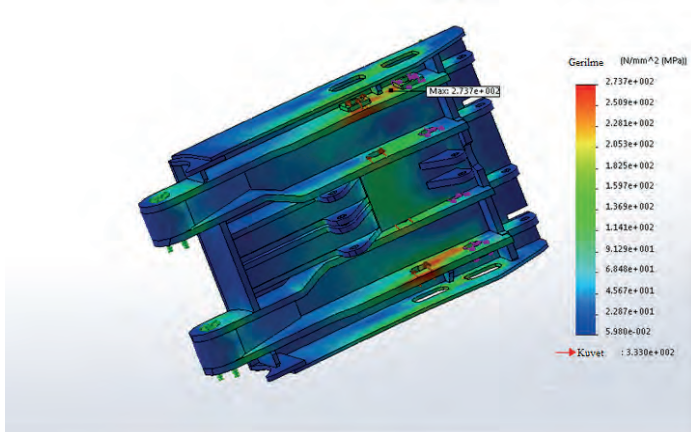


Şekil 3.8 Kapeye yapılan basma gerilmesi analiz sonucu

Bu testler sırasında nihai çekme gerilmesi 333 MPa olan S355 J2+N materyali kullanılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi bu materyal normlara uygunluk göstermektedir ve güvenli bölgededir.

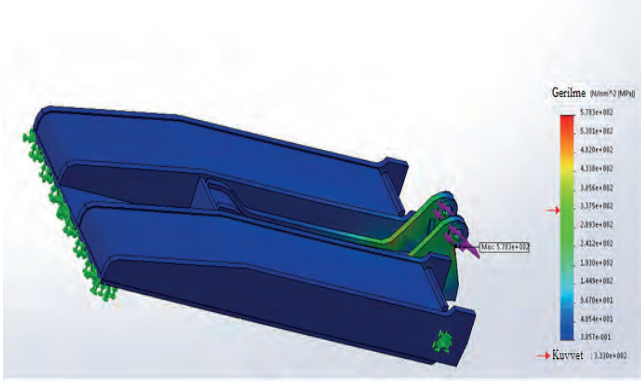
### 3.5 Ön Kape

Tahkimat yük altındayken ön kapeye tahkimata montelenen yerinde bir bükülme



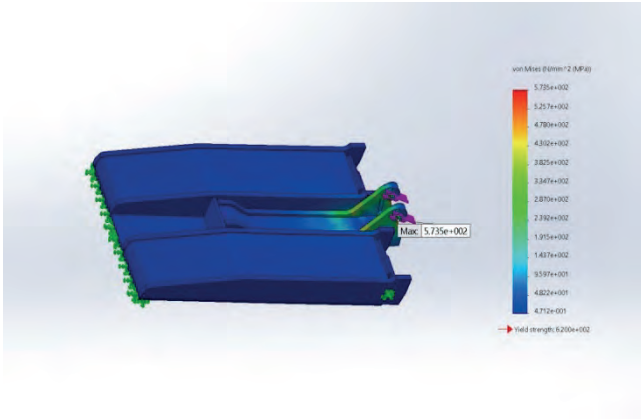
Şekil 3.6 Kalkana yapılan çekme gerilmesi analiz sonucu

yükü etki eder. Bu yükün analizi şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9 Ön kapeye uygulanan bükülme analizi sonucu

Bu test sırasında nihai çekme gerilmesi 333 MPa olan S355 J2+N materyali kullanılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi malzemenin gerilmeye uygun olmadığı anlaşılmıştır. Dolayısıyla nihai çekme gerilmesi minimum 600 MPa olan başka bir materyal seçilmelidir. Şekil 3.10’da nihai çekme gerilmesi 690 MPa olan S690 QL malzemesi kullanılarak yapılan analizlerin sonucu verilmiştir.

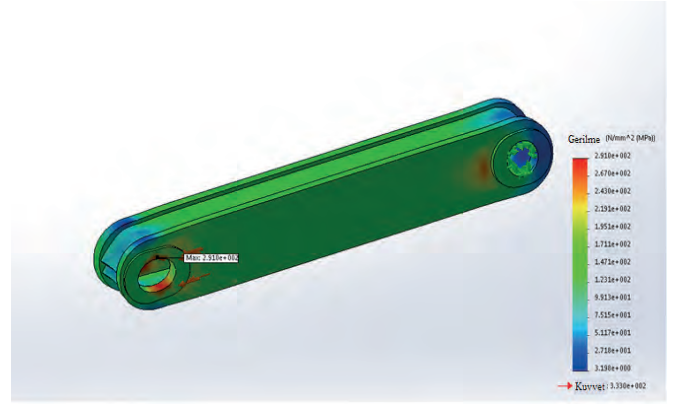


Şekil 3.10 S690 QL malzemesi kullanılarak yapılan analiz sonuçları

Şekilde de görüldüğü gibi S690 QL malzemesi kullanıldığında ön kape normlara uygun davranmaktadır ve güvenli bölgededir.

### 3.6 Ön Lemniskat

Tahkimat yük altındayken ön lemniskata etki eden basma ve çekme gerilmelerinin analizleri şekil 3.11 ‘de verilmiştir.



Şekil 7.1 Ön lemniskata etki eden yüklerin analiz sonuçları

Bu test sırasında nihai çekme gerilmesi 333 MPa olan S355 J2+N materyali kullanılmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi seçilen materyal yükleme yapıldığında normlara uygun davrandığı ve malzemenin güvenli bölgede olduğu görülmüştür.

## 4 SONUÇ

Kalkan tipi tahkimat kinematığı üzerinde çeşitli uygulamalardan ve temel çerçeveyi güçlendirme işlemlerinden sonra varılmış olan sonuç, aşırı yüklenme olan ve dolayısıyla uygunluğu kabul görmeyen bölümlerde materyal değişikliğine gidilmesi ve S690 QL ya da HARDOX 400 türü materyal kullanılması gerektiği yönündedir. Çerçeve kinematığını değiştiren herhangi bir güçlendirme yapılması sırasında, gerilmelerin, çok yüksek gerilme değerlerinde bile, diğer parçalara doğru dağıldığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla bazı parçaların boyutlarının değiştirilmesi, bazı parçaların da oluşturulduğu materyallerinin değiştirilmesi daha uygun olacaktır. Yapılan değişiklikler aşağıda verilmiştir;

- Ön direk arasındaki mesafe 925 mm
- Arka direk arasındaki mesafe 650 mm

Kalkan ve kapelerde değişikliğe gerek yoktur. Temel çerçeve, analiz sırasında en çok problem çıkaran parçaydı. S355 J2+N malzemesi temel çerçeve için yeterli derecede dayanıklı olmadığı için materyal değişikliği çözümüne gidilmiştir. Teleskop yerlerinde HARDOX 400 geriye kalan

bölümlerde ise S690 QL malzemesi kullanılmıştır. Aynı durum ön kape ve arka lemniskatlar için de geçerlidir. Kullanılan S355 J2+N malzemesi yeterli duraylılığı göstermemiş dolayısıyla kullanılan malzeme S690 QL malzemesi ile değiştirilmiştir.

Strata Control and Rock Mechanics, NewYork, May 4-8, 1964  
BIENIAWSKI, Z. T., “Tunneling in Coal Mines – Designing Development Entries for Stability” 2<sup>nd</sup> International Conference on Stability in Underground Mining, August, Lexington, KT, pp3-22, 1984  
URL-1, 2017. <http://slideplayer.biz.tr/slide/3295926/43>. Slayt.

## KAYNAKLAR

- AKSOY, C.O., GENİŞ, M., UYAR, G.G., ÖZACAR, V., ÖZER, S.C. and ÖZDEMİR, Y., A Comparative Study of the Determination of Rock Mass Deformation Modulus by Using Different Amprical Approaches, Engineering Geology, Vols. 131-132, 2012
- AKSOY, C.O., ÖZACAR, V., and KANTARCI, O., An Example For Estimation of Rock Mass Deformations Around An Underground Opening by Numerical Modelling, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Vol. 52, 2010
- AHISKA T., H, ESEN, H 1987 T. Uzun Ayaklarda Yürüyen Tahkimat Sisteminin Gelişmesi ve Dizayn Karakteristikleri, Madencilik Cilt 26, Sayı 2
- BARZACK, T.M., Examination of Design and Operation Practices for Longwall Shields, Bureau of Mines Information Circular, 1992
- BARZACK, T. M., Safety Elevations of Longwall Roof Supports BuMines IC 9221, 1989
- BARZACK, T.M. and GEARHART, D.F., Performance and Safety Considerations of Hydraulic Roof Support Systems. Proceedings: 17th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown 1998
- BARZACK, T.M. and SCHWEMMER, D.E., Horizontal and Vertical Load Transferring Mechanisms in Longwall Supports. U.S. Department of Interior, Bureau of Mines, RI 9188, 1988
- BARZACK, T.M., A Retrospective Assessment of Longwall Roof Support with a Focus on Challenging Accepted Roof Support Concepts and Design Premises Proceedings: 25th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, WV, Aug. 1-3 2006
- SHİ'ELDR, J. J. Longwall Mining in Bituminous Coal Mine with Planers, Shearer Loaders and Self-Advancing Hydraulic Roof Supports. U.S.B.M.I.C. 8321, 1967
- SHEPARD, R.: Study of Strata Control of Mechanized Coal Foe >>. Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf. of

# Derin Açık İşletme Kömür Madenciliğinde Şev Stabilitesi Stratejisi ve Faylı Bölge Kazı Yönü Değerlendirilmesi

## *Evaluation of Slope Stability Strategy and Fault Region Excavation Direction in Deep Open Cast Coal Mining*

G. Turan, D. Karakuş, M.E. Kılınç, A.H. Onur

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir*

A. Özer

*Aydın Linyit Madencilik ve Akaryakıt Sanayi Ticaret A. Ş. Aydın*

**ÖZET** Derin açık işletme kömür madenciliğinde karşılaşılan en önemli sorunlardan bir tanesi şev kaymalarıdır. Madencilik çalışmaları sırasında yapılan kazılar sonucunda şevlerin duraylılığını sağlamak için şev stabilitesi analizleri yapılmaktadır. Şev stabilitesi analizlerinde etkin olan önemli faktörler arasında üst sırada kayanın mekanik dayanım parametreleri ve süreksizliklerdir. Faylı bölgelerde belirlenen şev açılarında yapılacak kazılarda, kazının yönü şev stabilitesi için önem teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, Aydın bölgesi linyit zonunda yer alan derin açık ocak madeninde şev stabilitesi analizleri yapılmıştır. İlk olarak yapılan sondajlardan elde edilen verilerle bölgenin hidrojeolojik çalışmaları yapılmıştır. Sondaj numuneleri üzerinde jeomekanik deneyler yapılmış ve bölgedeki formasyonların mekanik dayanım parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca mühendislik jeolojisi ile ilgili gözlemler gerçekleştirilmiş ve jeolojik yapı haritalanmıştır. Şev açılarının belirlenmesine yönelik olarak yapılan şev stabilite analizleri iki yaklaşımla ele alınmıştır. Bunlardan ilki, işletme sırasında oluşturulacak şevlerin stabilite analizleri, ikincisi ise ocağın nihai basamaklarının oluşturulduğu anda gerçekleştirilen şev stabilite analizleridir. Son olarak faylı bölgelerin güvenli bir şekilde kazı basamaklarıyla geçilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

mining is slope instability. Slope stability analyzes are carried out to ensure the stability of the slopes as a result of excavation during mining operations. The most important factor that are playing role in slope stability analysis' are properties of rock mass. The excavation direction is important for slope stability when the excavations are to be made at the slopes determined in faulty areas.

A slope stability study for a deep open cast mine located in Aydın lignite zone was performed in this paper. First, hydrogeological study of the zone was carried out from drillhole data obtained. Geomechanical tests were performed on core samples and then mechanical strength parameters of the zone were determined. Studies on engineering geology were also carried out and the geological structure was mapped. Slope stability analyzes for determining the slope angles are discussed in two approaches. First one is stability analyzes of the slopes to be formed during the operation. And the second is slope stability analyzes of ultimate pit. Finally, studies have been carried out to pass the faulty areas safely through the bench excavating.

**ABSTRACT** One of the most important problem encountered in deep open-cast coal

## 1 GİRİŞ

Açık ocak kömür madenciliği, kömür talebindeki üst düzey artış nedeniyle yüksek öneme sahip bir endüstri haline gelmiştir. Üretim payı yeraltı kömür madenciliğinden daha fazladır. Açık ocak kömür madenciliği üretim payının gelecekte de artacağı öngörülmektedir. Üretimi arttırmak için açık ocak madenciliği üzerindeki bu baskı, açık ocak güvenliği ve ekonomi konularını ön plana getirmiştir (Verma ve Diğerleri 2013).

Diğer taraftan açık işletme yöntemiyle devam eden kömür ocaklarında projeler derinleşmiş ve bir çoğunda kritik derinliğe ulaşılmıştır. Proje başlarında kömürlü seviyelerin yüzeye yakın olduğu kısımlarda herhangi bir risk oluşturmayan kazı açıları (genel şev açısı, basamak şev açısı, kısmi şev açısı) ulaşılan derinliklerde riskli durumlar oluşturmaya başlamıştır. Özellikle genç linyit ocaklarında sıkışma sürecini tamamlamamış pekleşmemiş jeolojik birimlerin mekanik özellikleri kazı emniyeti açısından açık işletme kazı şevlerinde belirleyici olmaya başlamıştır.

Yukarıda verilen genel değerlendirme çerçevesinde bu çalışmada, Aydın Linyit Madencilik şirketine ait kömür ocağının devam eden süreçte açık işletme yöntemiyle üretime yönelik şev stabilitesi çalışmaları ele alınmıştır. Söz konusu ocakta 1968 yılında sondaj çalışmalarıyla başlamış ve devam eden süreçte aralıksız olarak değişen kapasitelerde kömür üretimi gerçekleştirilmiştir.

Madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü süreç boyunca ağırlıklı olarak yeraltı üretim yöntemiyle kömür üretimi gerçekleştirilmiş olup, 2014 yılı içerisinde yeraltı kömür işletmesi kapatılmıştır. Mevcut açık ocak çalışmaları kapsamında eski yeraltı imalatlarının yapıldığı alanlarda bırakılmış olan üretim topukları taban ve/veya tavan kömürlerinin imalatı yapılmaktadır. Ayrıca saha sınırı içerisinde açık işletme üretim yöntemi tekniğine göre yeraltı imalatlarının olmadığı bölgelerde kömür üretimi gerçekleştirilmektedir. Aralık 2015 tarihi itibarıyla sahanın batı kısmında +165 m

kotlarında kömür üretimi yapılmakta olup, +300 m kotlarında yoğun olarak dekapaj faaliyetleri yürütülmektedir. Ortalama 150 m yükseklikteki kazı şevlerinin emniyeti, ocaktan kömür üretimi çalışmalarında belirleyici olmaktadır. Bu çerçevede ele alınan bildiriye metodolojik olarak öncelikle ocak sahası ve çevresini kapsayan jeolojik yapı ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur. Açık ocak ve çevresinin hidrojeolojik özellikleri tanımlanmıştır. Sonrasında işletme şev emniyeti açısından değerlendirilerek dekapaj kazısı ve kömür üretimi yapılacak bölgeler için şev stabilite analizleri yapılmıştır.

## 2 JEOLJİ VE HİDROJEOLJİ

İncelenen sahanın jeolojisi alan çalışması ve bölgede yapılmış geçmiş çalışmalar referans alınarak oluşturulmuştur. Buna göre inceleme alanı Menderes Masifi'nin Güneyinde, Çine ast masifi olarak ayrılan metamorfiklerin üzerine uyumsuzlukla gelen kömürlü birimlerle temsil edilir. Çine ast masifi Alt Paleozoyik yaşlı gnayslardan oluşmuş çekirdekle Üst Paleozoyik – Alt Mesozoyik yaşlı metamorfik örtü serilerinden oluşmuştur (Dora 1981). Metamorfik temel üzerinde yer alan Miyosen'den Pliyosen'e kadar uzanan evrede iç havzalarda ve göllerde marnlı killi litolojik gelişimin yanı sıra linyit oluşukları yaygın olarak izlenir. Büyük menderes grabeni güneyinde yer alan Şahinalı linyit havzası bu bölgesel özelliklere uyum göstermektedir. Aydın Şahinalı kömür havzası gnays, mikaşist ve granat fillitle temsil edilen temel birimler üzerine uyumsuz olarak Orta Miyosen yaşlı kömürlü birimler, kendi içinde transgresif olarak gözlenen birimler taban çakıtaşı, kömür damarı, siltaşı-kiltaşı, kiltaşı, killi kireçtaşı şeklinde sıralanmıştır. Kömürlü birimleri uyumsuz olarak üstleyen Pliyosen yaşlı örtü birimleri ise pekleşmemiş kum ve çakıllardan oluşmuştur (Evcen 2005) (Şek. 1a, b).

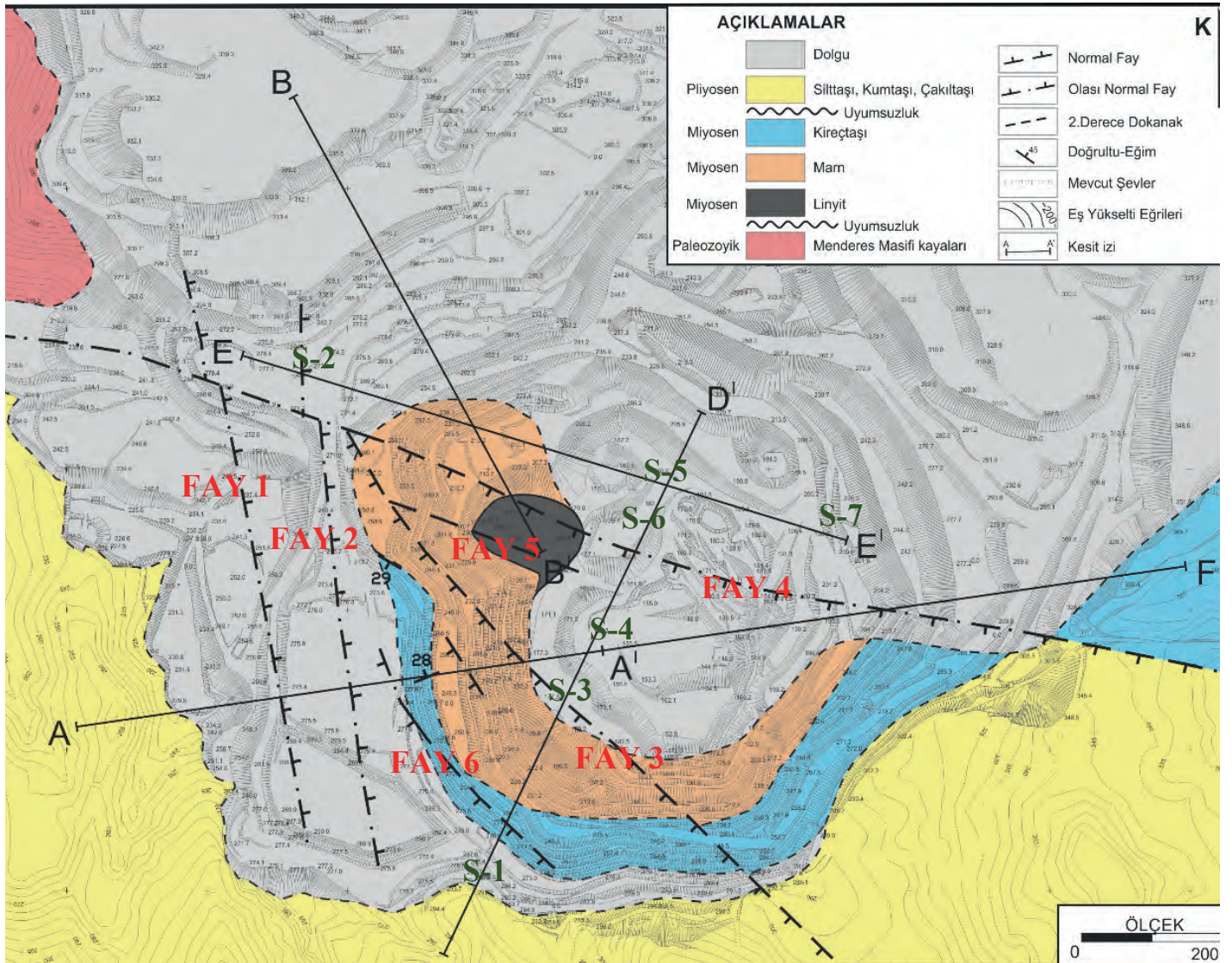
Kömür damarı üzerine yanal ve düşey geçişler gösteren siltaşı, kiltaşı, marn ve ince katmanlı kireçtaşı birimi gelmektedir. Bu

çalışmada kömür damarı üzeri kireçtaşına kadar marn olarak tanımlanmıştır. Siltaşı-kiltaşı, koyu gri renkli belirgin tabakalanma göstermektedir. Ana kömür damarı üzerindeki birimde 1-2 cm kalınlığında ince kömür bantlarına rastlanmaktadır. Kiltaşı, açık griden koyu kırmızimsı kahveye kadar değişen renklerde görünür. Saha içerisinde yoğun olarak marn ve üzerinde yer alan kireçtaşı birimleri gözlenmektedir. Kömür seviyesinin üzerinde yer alan marn birimi akifer oluşturabilme yönünden oldukça zayıftır.

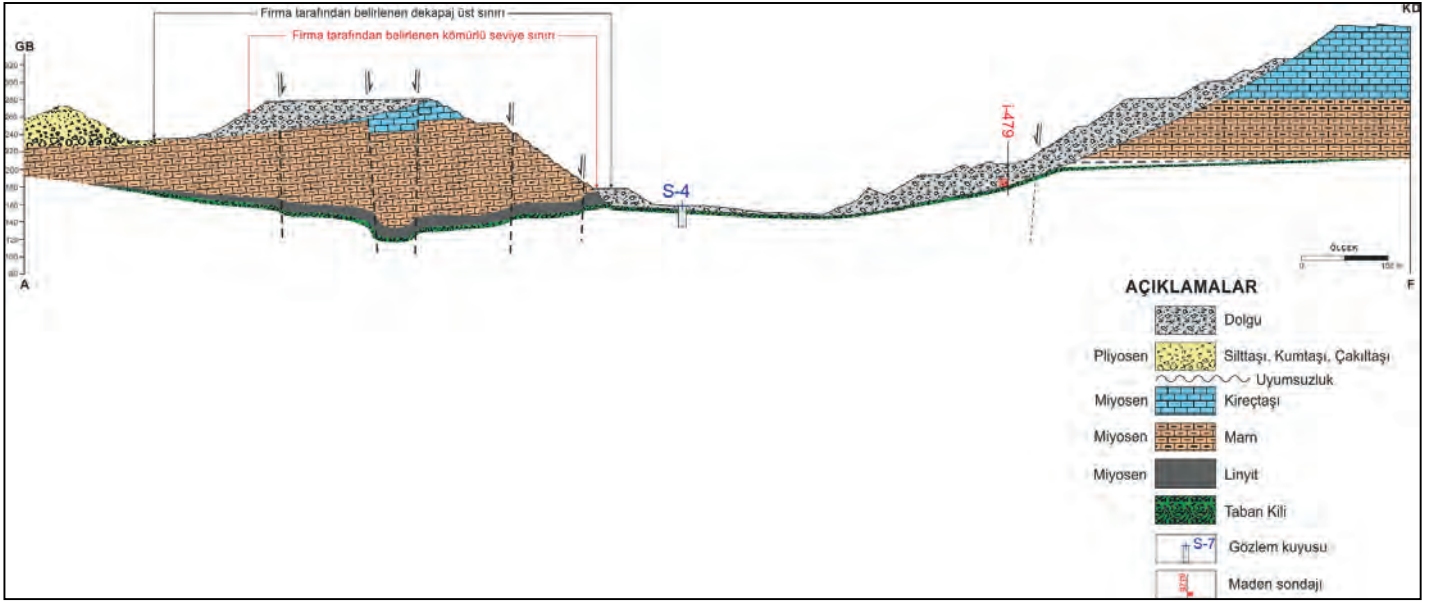
Sahada şev stabilitesi çalışmalarında belirleyici olan yeraltı su durumunun ortaya konulması amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Buna göre maden sahası içerisinde veya

yakın çevresinde herhangi bir devamlı kaynak gözlenmemiştir. Sahadaki su tablasının konumunu ve akım yönünün belirlenebilmesi için 7 adet gözlem sondajı açılmıştır (S1-S7) (Şek. 1a, b).

Bu kuyulardan 2 tanesi derin, 5 tanesi ise sığ kuyu olarak tasarlanmıştır. Derin kuyular sırasıyla yaklaşık olarak 206 ve 140 m derinlikte olup maden sahasının dışında, diğer 5 kuyu ise yaklaşık olarak 24 ile 40 m derinlikte olup sahanın içinde düşük kotlardadır. Sığ kuyuların birbirlerine yakın yerlerde açılması planlanmıştır. Böylece maden sahasındaki su tablasının kömür seviyesiyle ilişkisi ayrıntılı olarak ortaya konulmuş ve ştabilite analizlerinde kullanılmıştır.



Şekil 1a. Çalışma alanının genel jeoloji haritası.



Şekil 1b. AA<sup>1</sup> enine jeolojik kesiti.

### 3 JEOMEKANİK ÖZELLİKLER

Mühendislik çalışması yapılacak kayaç birimlerinin tasarım büyüklüklerinin (fiziksel ve mekanik) belirlenmesi ekonomik bir çalışma için çok önemlidir. Laboratuvar çalışmaları kapsamında kaya ve zemin türü numuneler üzerinde birim hacim kütle, su içeriği tayini, tek eksenli basma dayanımı, üç eksenli basma dayanımı, direkt kesme (kohezyon ve içsel sürtünme) testleri yapılmıştır.

Bölgede yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen verilere göre yapılan litolojik

tanımlamalar (isimlendirme) aşağıda verilmiştir.

- Temel formasyonu (Menderes masifine ait metamorfik temel kayaçları)
- Taban kili (mikaca zengin, çakıltaşı, kum ve killi taban seviyesi)
- Kömürlü seviye ( linyit izli kiltası, kil, silt taşı ara bantları içermektedir)
- Marn (silt taşı, kiltası, marn aralanmalı)
- Kireçtaşı

Tanımlanan temel, kömür, marn ve kil taşına ait toplu test sonuçları Çizelge 1'de verilmektedir. Çizelge 1'deki litolojik tanımlamalara ait içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri üç eksenli basınç deneyleriyle belirlenmiştir.

Çizelge 1. Toplu test sonuçları.

Litoloji	Doğal Birim Hacim Kütle (gr/cm <sup>3</sup> )	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	İçsel Sürtünme Açısı (Φ)	Kohezyon (kg/cm <sup>2</sup> )
Marn	1,85±0,09	14,42±3,31	26,78°	3,98
Temel	2,61±0,03	18,42±3,62	46,67°	3,58
Kömür	1,36±0,03	-	-	-
Kiltası	1,95±0,10	9,59±0,46	-	-

#### 3.1 Taban Kili Seviyesi Değerlendirmesi

Bu bölümde sondaj çalışmalarında kömürlü seviyelerde gözlenen ve taban killeri olarak adlandırılan killi malzemenin mekanik özellikleri ayrıca değerlendirilmiştir. Kömürlü seviye içerisinde ve/veya altında

gözlenen killi seviyeler üzerlerinde oluşturulan açık işletme şevleri ağırlığı ve genel şev yüksekliğinin fazla olması nedeniyle şev emniyeti açısından belirleyici olmaktadır. Diğer taraftan bir çok kömür açık ocağında şev hareketleri, ocak tabanında veya dekapaj basamakları

arasında bulunan killi katmanlardan geliştiği gözlenmiştir. Bu çerçevede farklı su içeriklerinde sondaj karotlarından elde edilen kil numunelerinin direkt kesme deneyiyle belirlenen içsel sürtünme ve kohezyon değişimleri Çizelge 2’te ortaya konulmuştur.

Çizelge 2. Tabankili kesme direnci parametreleri.

Sondaj No	Su İçeriği (%)	İçsel Sürtünme Açısı ( $\Phi$ )	Kohezyon ( $\text{kg/cm}^2$ )
SK-2	10,67	32,21°	0,02
SK-8	9,67	28,65°	0,53
SK-9	13,69	20,52°	0,32
SK-9	8,06	22,49°	0,74
Standart Sapma	2,05	4,69	0,27
Ortalama	10,52	25,97	0,40

Sahada mevcut açık işletme kazısı yapılan alanın batısında tanımlanmış kömür rezervinin açık işletme yöntemiyle üretilmesi amacıyla sahada kazı çalışmaları gerçekleştirilecek hakim jeolojik birimlerin jeomekanik özelliklerinin belirlenmesi için testler gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar testlerinde amaç, bölgedeki jeolojik birimleri oluşturan kayaç malzemesi özelliklerinin tespit edilerek şev stabilite analizleri için girdi parametrelerinin bulunmasıdır.

Şev duraylılığı açısından değerlendirildiğinde bu jeolojik birimlerin kayaç malzemesi özellikleri değil içerisindeki süreksizliklerle birlikte yerindeki kaya kütle özellikleri belirleyici olmaktadır. Bu nedenle burada verilen jeomekanik özelliklerin yanında geri şev stabilite analizi yöntemleriyle belirlenen jeolojik birimlere ait jeomekanik özelliklerin birlikte değerlendirilmesi daha açıklayıcı olacaktır.

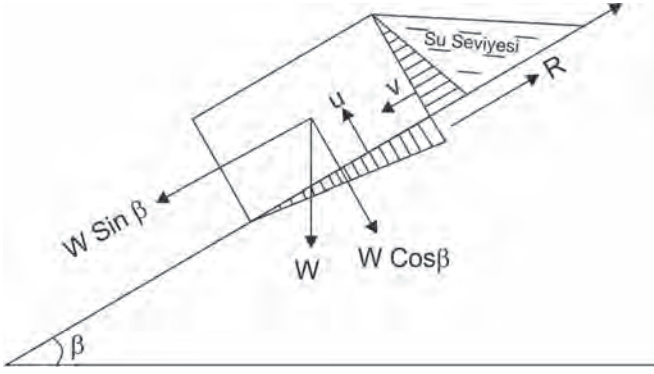
#### 4 ŞEV STABİLİTESİ ANALİZLERİ

Jeolojik yapı, bazı bölgelerde, daha önceki yıllarda yapılan dekapaj malzemesinden oluşan dolgu, onun altında kalınlıkları

30-50 m arasında değişen kireçtaşı seviyesi, bu seviyeyi takip eden yer yer 100 m kalınlıklara ulaşan marn ve kömürlü seviye olarak sınıflandırılabilir. Kömürün altında ise taban kili olarak adlandırılan, şev stabilitesi çalışmalarında oldukça etkin olan bir yapı bulunmaktadır. Taban kilinin su içeriğine göre mekanik özellikleri önemli ölçüde değişmektedir. Çalışma sahasının önemli özelliklerinden birisi de sahanın çok büyük bir bölümünde geçmiş tarihlerde üretim yapılmış yeraltı imalatlarının bulunmasıdır. Yeraltı işletmelerinin önemi, kömür kazısı gerçekleştirildikten sonra, üretim alanının tavanının göçertilmesi neticesinde, imalat sahasının tesir açısı ile yeryüzüne ulaşan etki alanı içerisinde kalan formasyonların orijinal mekanik özelliklerini kaybetmeleri ve bol kırıklı ve çatlaklı bir yapıya sahip olmalarıdır. Bu nedenle, şev stabilite analizlerinde kullanılacak kayanın mekanik dayanım parametreleri, bu yapıyı temsil edecek şekilde seçilmiştir.

Açık maden işletmelerinde kazı faaliyetlerine bağlı şev duraylılıklarının değerlendirilmesi çok yönlü bileşenleri olan tasarım problemleridir. Bu problemin analizi ve tasarım aşamaları detaylı teorik yaklaşımlar içermektedir tamamının bu bildiride ele alınması mümkün görülmemektedir. Ancak genel bir yaklaşım olması nedeniyle duraylılık analizlerinde kullanılan prensip açıklanmıştır. Buna göre yerçekimi etkisi altındaki kaya kütlelerinin kazı çalışmaları ile doğal dengesi bozulmakta ve değişen kuvvet yönlerine bağlı gerilme bileşenleri oluşturulmaktadır. Şev stabilitesi temel mekaniği genel olarak Şekil 2’de verilmektedir.





Şekil 2. Şev stabilitesinin temel mekaniği (Hoek, 1973)

Şev duraylılık analizlerinde kullanılan fonksiyonlar, kazı ile oluşan yeni şevler üzerindeki gerilme bileşenlerinin yönleri esas alınarak gerçekleştirilmektedir. Oluşan şev üzerinde kaymayı kolaylaştıracak yöndeki kuvvet bileşenleri ile kaymayı durduracak yöndeki kuvvet bileşenlerin belirlenmesi limit denge şev stabilitesi analizinin temelini oluşturmaktadır. Şekil 2'deki modele göre yatayla  $\beta$  açısı yapan bir eğik düzlemde  $W$  ağırlığında bir blok düşünülüğünde, bloğa etki eden tek kuvvet yerçekimi kuvvetidir. Bloğun yüzey üzerinde kaymasını sağlayacak  $W$  kuvvetinin düzlem boyunca etki eden bileşeni  $W \sin \beta$  eğik düzleme dik olarak etki eden bileşeni ise  $W \cos \beta$ 'dir. Ayrıca modeldeki su durumu ve su basıncı etkisi göz önüne alındığında genel olarak limit denge şev emniyet katsayısı;

$$cA + (W \cos \beta - U) \tan \Phi + W \sin \beta + V$$

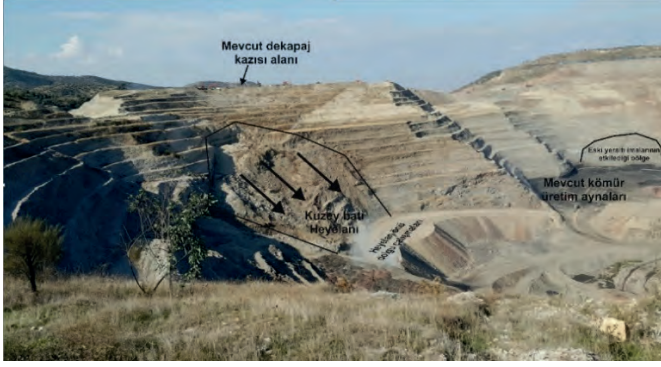
olarak tanımlanır. Fonksiyonda kaymayı engelleyici kuvvetlerde tanımlı olan "c" kaya kütlelerinin kohezyonu, " $\Phi$ " ise içsel sürtünme açısıdır. Modern şev duraylılık analizleri programlarının tamamı bu limit denge analizi yöntemine göre sonuç üretmektedir. Buna göre kaymayı önleyici yöndeki gerilmelerin, kayma yönündeki gerilmelere oranı şev emniyet katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Bu katsayının "1" olması şevin denge durumunda olduğunu, "1" den küçük bir değerde olması şevin kayma riski altında olduğunu, "1" den büyük bir değerde olması ise şevin emniyetli olduğunu ifade eder. Devam eden

açık işletme kazıları sırasında faaliyetler dinamik bir yapı arz etmektedir ve günlük bazda kazı şevlerinin konumu değişmektedir. Bu nedenle işletme şev açılarında emniyet katsayıları 1,2-1,5 arasında olabilirken ocak terk edilirken veya uzun süre açık kalması planlanan şevlerde emniyet katsayısının 1,5 üzerinde olması beklenir. Yukarıda yapılan tanımlamaya göre limit denge şev stabilite analizlerinde gerek kayma yönündeki gerilme bileşenleri gerekse kaymayı engelleyen yöndeki gerilme bileşenleri temel olarak şev geometrisi ve kazılan kaya kütlelerinin fiziksel özellikleri tarafından denetlenmektedir. Özetlemek gerekirse bir şevin duraylılığında en önemli üç husus şev açısı, şev yüksekliği ve şevi oluşturan malzemenin mekanik özellikleridir. Bunun yanında çözüm fonksiyonunda şevi oluşturan farklı formasyonların konumu, şeve gelen dinamik yüklerin etkisi (deprem, ocak içi patlatma vs) ve özellikle malzemenin mekanik dayanımlarını değiştirdiği, ayrıca fiziksel olarak basınç etkisi yaratması nedeniyle su durumu gerilme dağılımının oluşmasında diğer önemli etkenlerdir. Günümüzde limit denge analizlerine dayalı şev emniyet katsayısının belirlenmesi yönteminin dışında şev duraylılığı analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi ile oluşabilecek deformasyonlar modellenebilmektedir. Bu yöntemde şev emniyet katsayısı belirlenmemekte sadece şevi temsilen oluşturulan geometri ve formasyonların konumları kesit üzerinde analiz edilerek oluşacak yatay ve düşey deformasyonların bölgesi tespit edilebilmektedir.

Bu çalışmada, kullanım kolaylığı bakımından Bishop Dilimler yöntemini kullanan bir bilgisayar yazılımı ile değerlendirmeler yapılmıştır.

Taban kili dışındaki marn ve kireçtaşının stabilite analizlerinde kullanılacak mekanik değerlerinin saptanabilmesi amacıyla geri analiz yöntemi uygulanmıştır. Sahadan elde edilen marn numuneleri üzerinde gerçekleştirilen mekanik test sonuçları, marnın çatlak ve kırık içermeyen homojen yapısını vermekte ve çok yüksek

değerler elde edilmektedir. Bu nedenle, geri analiz yönteminde, sahanın kuzey batı şevlerinde bulunan heyelan hareketi baz alınarak, oluşan heyelanın kinematığı üzerinden değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Şekil 3, sahanın kuzey batı şevlerinde meydana gelen heyelan hareketinin resmini göstermektedir.



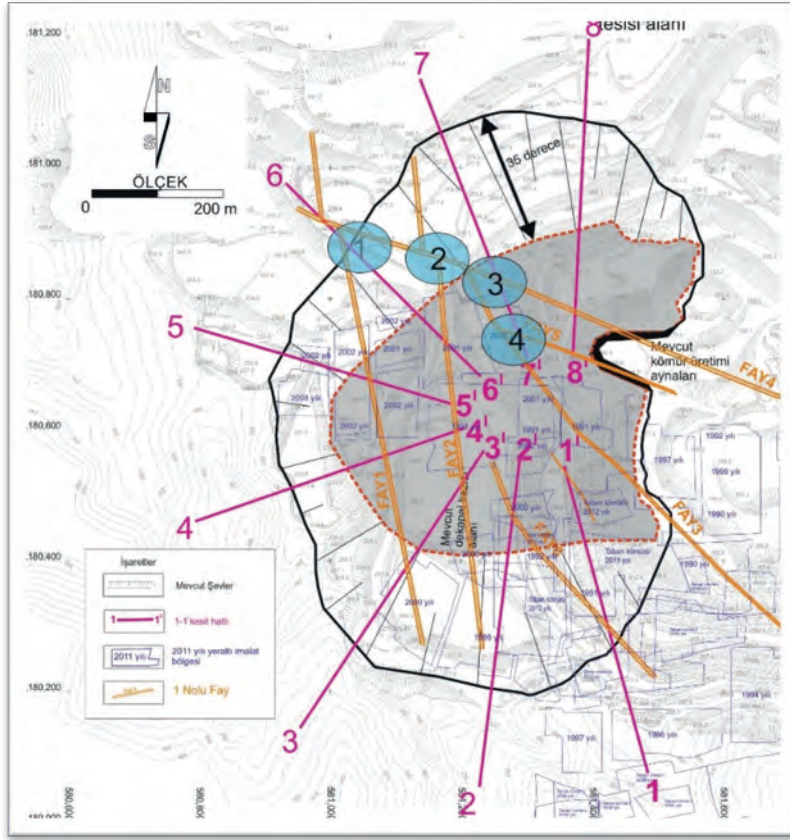
Şekil 3. Sahanın kuzey batı şevlerinde meydana gelen heyelan

#### 4.1 Şev Açılarının Belirlenmesi

Şev açılarının belirlenmesine yönelik olarak yapılan şev stabilite analizleri iki yaklaşımla ele alınmıştır. Bunlardan ilki, işletme sırasında oluşturulacak şevlerin stabilite analizleri, ikincisi ise ocağın nihai basamaklarının oluşturulduğu anda

gerçekleştirilen şev stabilite analizleridir. İşletme sırasında oluşturulacak şevler faylara yaklaşma yönleri, açıları, yükseklikleri kazı emniyeti göz önünde bulundurularak planlanabilir özelliktedir. Nihai şevler ise, kısmen iç dolgu ile güvenliği artırılmış, ocağı terk ettikten sonra çalışanın bulunmadığı şevlerdir. Bu nedenle işletme şevlerinin tasarımına, uygulamasına ve takibine daha fazla önem verilmesi genel bir yaklaşımdır.

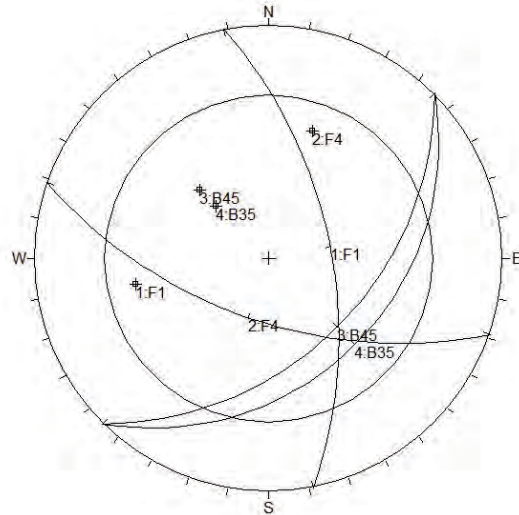
Kazı alanı içerisinde 6 adet fay tanımlanmıştır. Bu fayların konumları işletme aşamasında oluşturulacak kazı şevlerinin duraylılığını denetleyen bir unsurdur. Benzer şekilde daha önce değinildiği gibi kazı alanı içerisinde geçmiş yıllarda göçertmeli uzun ayak yöntemiyle gerçekleştirilmiş olan yeraltı imatları işletme aşamasında oluşturulacak şevlerin duraylılığını denetleyen bir diğer önemli parametredir. Mevcut açık ocak işletmesinin batı kısmında tanımlı kömür rezervinin üretilebilmesi amacıyla oluşturulacak işletme şev açılarının duraylılığını denetleyebilecek fayların konumları ve yeraltı imalatı yapılan bölgeler Şekil 4'te harita üzerinde verilmektedir.



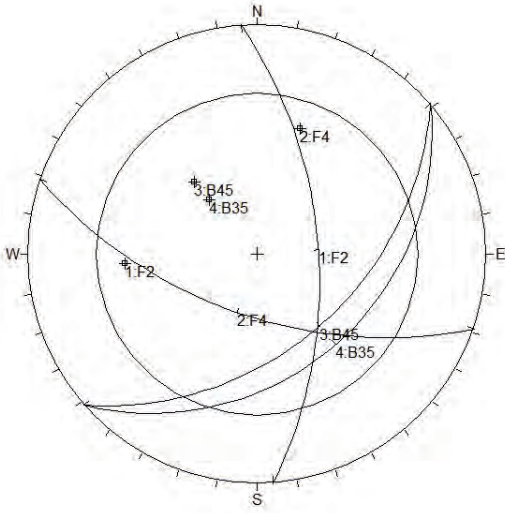
Şekil 4. Açık ocakta tespit edilen faylar, eski imalat sahaları ve ocağın nihai sınırı

Şekil 4'te fayların ve kazı sınırı konumlarının verildiği haritada 1, 2, 3 ve 4 numaraları ile gösterilen kritik alanlar, düzlemsel kayma değil, kama tipi kaymaların meydana gelme olasılığının bulunduğu kritik fay kesişim noktalarıdır. Fayların eğimleri ve doğrultuları ile basamak şevinin eğim ve doğrultusu streonetler üzerine aktarılarak değerlendirilmiştir (Şek. 5-8). Her düzlemin büyük daireleri eş alan kutupsal net üzerine aktarılmış, içsel sürtünme açısı dairesi yerleştirilerek kritik bölge tanımlanmıştır. İki süreksizliğin kesişim noktası bu kritik bölge içerisine düşerse, kama tipi kayma olasılığı yüksektir ve detaylı analiz yapılması gereklidir. Bu bölgenin uzağındaki kesişim noktalarında kama tipi kayma olasılığı yoktur olarak yorumlanır. Şekil 5-8 üzerinde "F" kısaltması numarasıyla fayların konumlarını, "B" kısaltması işletme basamak şevlerinin yönleri ve açılarını ifade etmektedir. Dört farklı alan için kama tipi kayma riski analizi fay düzlemlerin eğim yönü ve eğim açılarıyla işletme şev açıları ve basamak yönleri dikkate alınarak gerçekleştirmiştir.

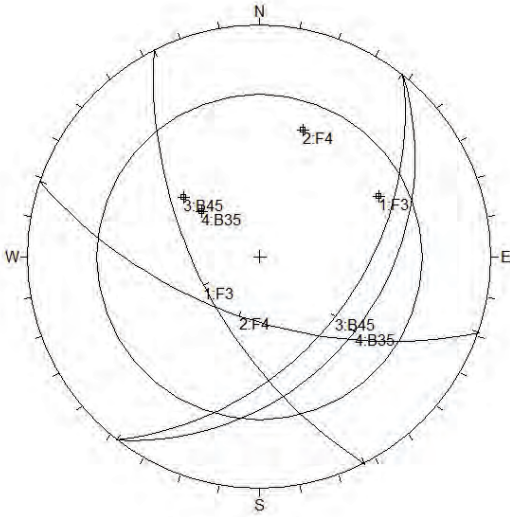
Sürtünme Açısı  $20^\circ$  iken şevlerin ilgili fayların kesişim yönüne dik olarak konumlandırılması durumunda kama tipi kayma riski bulunan bölgelerde gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 3-6'da verilmiştir.



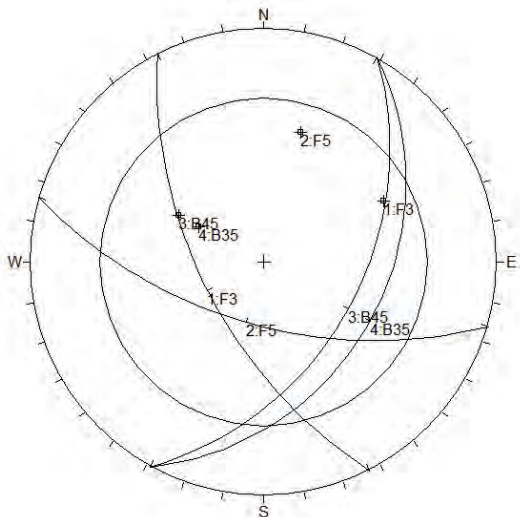
Şekil 5. Birinci alana ait kama tipi kayma streonet analizi



Şekil 6. İkinci alana ait kama tipi kayma streonet analizi



Şekil 7. Üçüncü alana ait kama tipi kayma streonet analizi



Şekil 8. Dördüncü alana ait kama tipi kayma streonet analizi

Çizelge 3-6'da kullanılan değişkenlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

$\beta$ : kesişme hattı ile yatay düzlem arasındaki açıyı,

$\xi$ : kamalanma açısını,

$\Phi$ : içsel sürtünme açısını,

$\Psi$ : herbir düzlemin eğimini,

Çizelge 3. Fay 1 ve Fay 4 için kama tipi kayma analiz sonuçları

	Fay 1	Fay 4	Şev 1	Şev 2
Doğrultu	K11B	K71B	K45D	K45D
Eğim	60°	60°	45°	35°
Eğim Yönü	79°	199°	135°	135°
Tehlike Durumu			Var	Yok
Güvenlik Katsayısı (F)			<b>1,30</b>	
$\beta$	$\xi$	$\Phi$	$\psi$	Kama Faktörü
85,65°	51,3°	20°	56°	2,30

Çizelge 4. Fay 2 ve Fay 4 için kama tipi kayma analiz sonuçları

	Fay 2	Fay 4	Şev 1	Şev 2
Doğrultu	K4B	K71B	K49D	K49D
Eğim	60°	60°	45°	35°
Eğim Yönü	86°	199°	139°	139°
Tehlike Durumu			Var	Yok
Güvenlik Katsayısı (F)			<b>1,12</b>	
$\beta$	$\xi$	$\Phi$	$\psi$	Kama Faktörü
88,55°	57,1°	20°	55°	2,09

Çizelge 5. Fay 3 ve Fay 4 için kama tipi kayma analiz sonuçları

	Fay 3	Fay 4	Şev 1	Şev 2
Doğrultu	K27B	K71B	K38D	K38D
Eğim	60°	60°	45°	35°
Eğim Yönü	243°	199°	128°	128°
Tehlike Durumu	Ancak K45D doğrultusunda en az 59° eğimli şevler konumlandırıldığında tehlike durumu söz konusudur,			
Güvenlik Katsayısı (F)			<b>2,08</b>	
$\beta$	$\xi$	$\Phi$	$\psi$	Kama Faktörü
78,95°	37,9°	20°	58°	3,02

## Çizelge 6. Fay 3 ve Fay 5 için kama tipi kayma analiz sonuçları

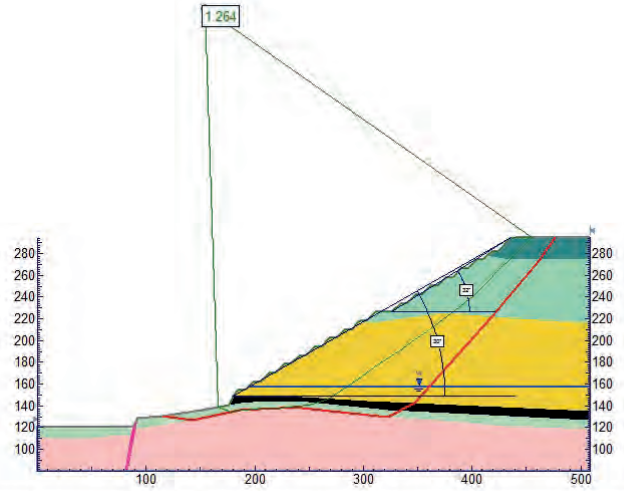
	Fay 3	Fay 5	Şev 1	Şev 2
Doğrultu	K27B	K74B	K29D	K29D
Eğim	60°	60°	45°	35°
Eğim Yönü	243°	196°	119°	119°
Tehlike Durumu	Ancak K40D doğrultusunda en az 58° eğimli şevler konumlandırıldığında tehlike durumu söz konusudur,			
Güvenlik Katsayısı (F)	<b>1,85</b>			
$\beta$	$\xi$	$\Phi$	$\psi$	Kama Faktörü
80,2°	40,4°	20°	58°	2,85

İncelenen alanlara göre risk değerlendirmesinde basamak doğrultusu en riskli değer olarak 29°-49° ve genel şev açısı 35° ve 45° olarak değerlendirmeleri yapılmıştır. Oluşan kama tipi kayma riskinin azaltılması amacıyla Çizelge 3-6'da verilen değerlendirmelerde, şev açısı 45° olduğu durumlarda şev emniyet katsayıları hesaplanmıştır. Bu değerde dahi herhangi bir kama tipi kayma riski bulunmamaktadır. Dört farklı alanda, kısmi genel şev açısı 35°'yi geçmemelidir. 45°lik şev analizleri, basamak şev açıları için gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5'te görüldüğü üzere, 3 ve 4 nolu bölgelerde, kuzey 40°-45° doğu doğrultusunda, 59° eğim açısında oluşturulacak şev açıları kama tipi kayma meydana gelebilecektir. Ancak sahada, bu şev açısı ile hiçbir bölgede üretim gerçekleştirilmemektedir. Bu durum devam eden kazı çalışmalarında da sürdürülmelidir.

### 4.2 Nihai Şev Açılıyla İlgili Öneriler

Şev stabilite analizlerinde kazı güvenliği açısından şev emniyet katsayısının 1,2 olması durumu tasarım değeri kabul edilmiş ve 1,2 şev emniyet katsayısını sağlayan nihai genel şev açısı tespit edilmiştir. Oluşturulan 8 adet kesite ait nihai genel şev açısının belirlenmesine yönelik örnek olarak 3 numaralı kesit hattının stabilite analizi ekran görüntüsü Şekil 9'da

verilmektedir.



Şekil 9. Nihai genel şev açısının belirlenmesine 3-3 kesit hattı görüntüsü

Analizler sonucunda elde edilen şev açıları ve emniyet katsayıları Çizelge 7'de verilmektedir. Kesitler, farklı şev özelliklerini temsil edecek şekilde, nihai şevlere dik olarak alınmıştır. Kesit hatlarının oluşturulmasında dikkate alınan diğer hususlar kömür eğim yönlerinin değişimi, kömür damar kalınlıklarının değişimi, şev yükseklikleri değişimi ve bölgesel farklı jeolojik yapılarıdır. Analizlerde yeraltı su seviyesi gözlemleri ve deprem etkisi faktörü yorumlanarak göz önünde bulundurulmuştur. Analizler ve değerlendirmeler sonucunda, bölgeyi temsil eden nihai genel şev açısı 29° ile 33° arasında değişmektedir.

Açık işletmenin nihai durumunda belirli yükseklikteki basamaktan oluşan ve nihai genel şev açısına oranla daha büyük açılara sahip olan bölümünün şev açısı nihai kısmi şev açısı ( $\delta$ ) olarak tanımlanır. Sahada çalışma planında önerilen basamak yükseklikleri 8 m, basamak şev açısı 45° olarak belirlenmiştir. Çizelge 7'de nihai genel şev açılarının oluşturulması şartıyla nihai kısmi şev açıları ancak basamak düzlüğü mesafesi ile sağlanabilecektir. Bu çerçevede 33°lik kısmi şev açıları, basamak düzlüğü 4 m, 31° için 5 m ve 30° için 6 m olarak belirlenmiştir. Belirlenen genel şev açısına ulaşabilmek için en fazla

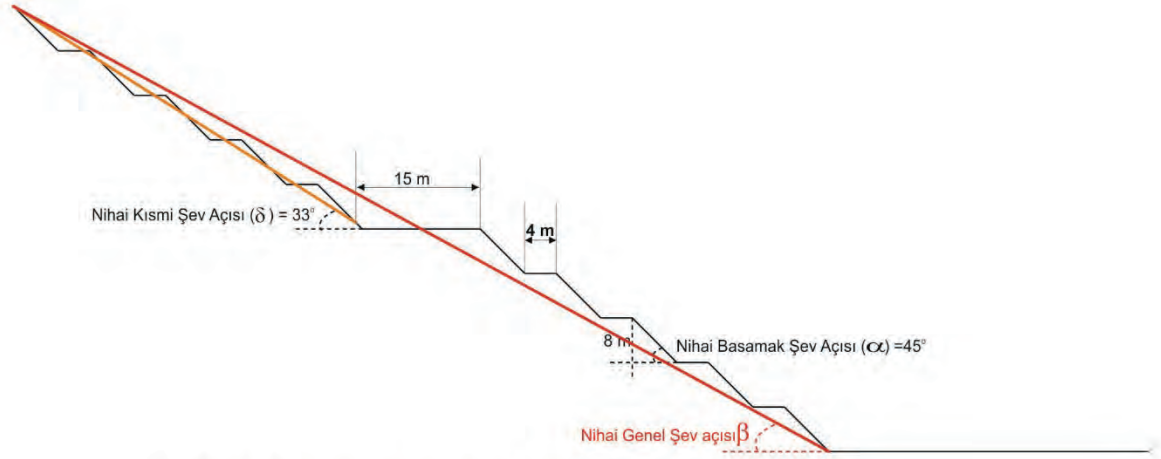
8 basamakta bir organize edilecek 15 m lik topuk düzlüğü bırakılması önerilmektedir. Şekil 10'da şev geometrisi ile ilgili bilgiler verilmektedir.

Nihai genel şev açısı ve nihai kısmi şev açısının belirlenmesi amacıyla oluşturulan 8 adet kesit hatları şev stabilitesi analizleri sonuçlarından yararlanılarak nihai açık ocak şevleri alanı bölgelere ayrılarak gruplandırılmıştır. Buna göre 1-1<sup>I</sup>, 2-2<sup>I</sup>, 3-3<sup>I</sup> kesitlerini kapsayan alan A Bölgesi, 4-4<sup>I</sup>, 5-5<sup>I</sup> kesitlerini kapsayan alan B Bölgesi, 6-6<sup>I</sup> kesiti alanını kapsayan alan C Bölgesi ve 7-7<sup>I</sup>, 8-8<sup>I</sup> kesitlerini kapsayan alan D Bölgesi olarak adlandırılmıştır. Bölgelerin sınırları, bu bölgelerde hesaplanan nihai genel şev açısı ve kısmi genel şev açısı değerleri Şekil 11'de verilmektedir. Sahanın batı kısmında tanımlı rezervi için

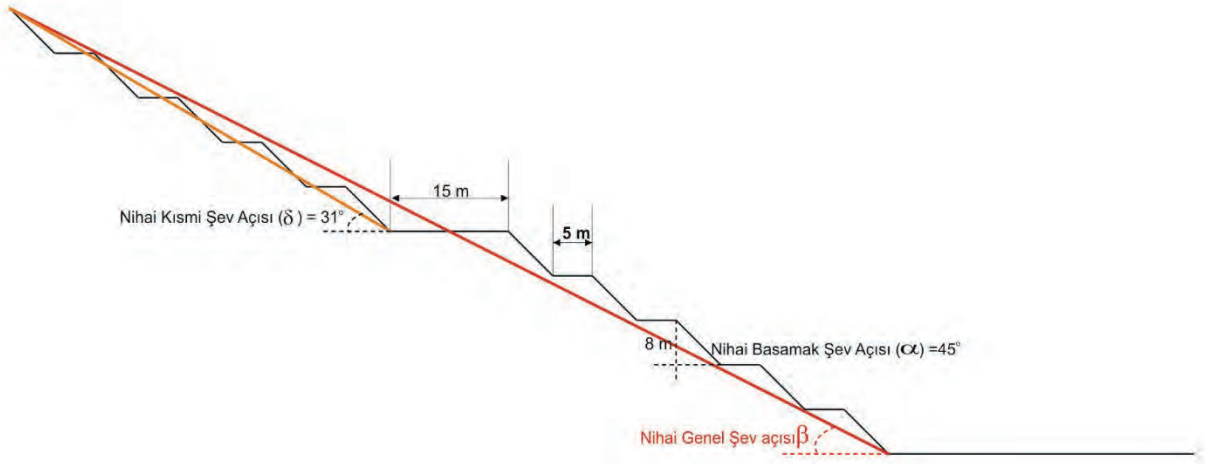
açık işletme nihai ocak şevleri perspektif görüntüsü Şekil 12'de verilmektedir.

Çizelge 7. Nihai şev açlarına yönelik belirlenen kesit hatlarında hesaplanan şev analiz sonuçları

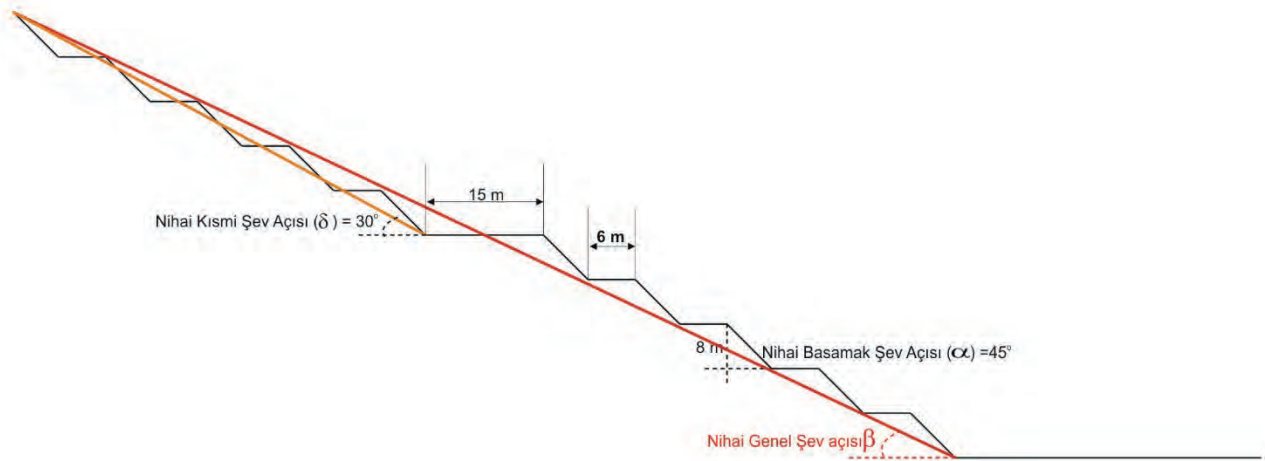
Kesit No	Şev Emniyet Katsayısı	Kısmi Şev Açısı (°)	Genel Şev açısı (°)	Şev Yüksekliği (m)
1-1 <sup>I</sup>	1.207	30-32	30	112
2-2 <sup>I</sup>	1.164	30-32	30	127
3-3 <sup>I</sup>	1.264	30-32	30	143
4-4 <sup>I</sup>	1.201	33	33	67
5-5 <sup>I</sup>	1.242	33	33	67
6-6 <sup>I</sup>	1.198	31-34	31	104
7-7 <sup>I</sup>	1.237	30-32	29	142
8-8 <sup>I</sup>	1.275	30-32	29	108



(a) Nihai kısmi şev açısı  $33^\circ$  için basamak geometrisi

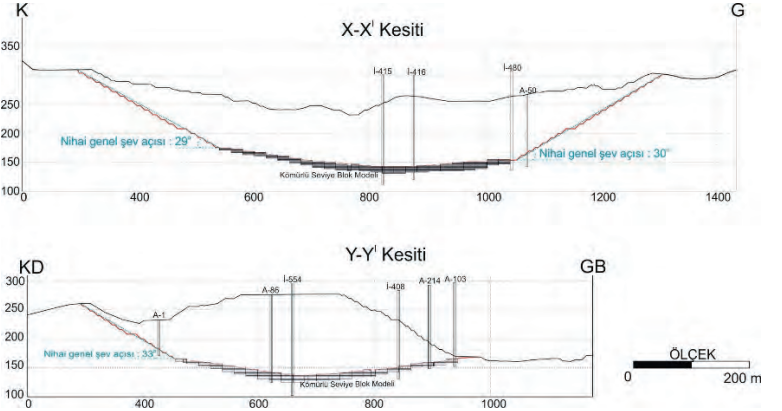
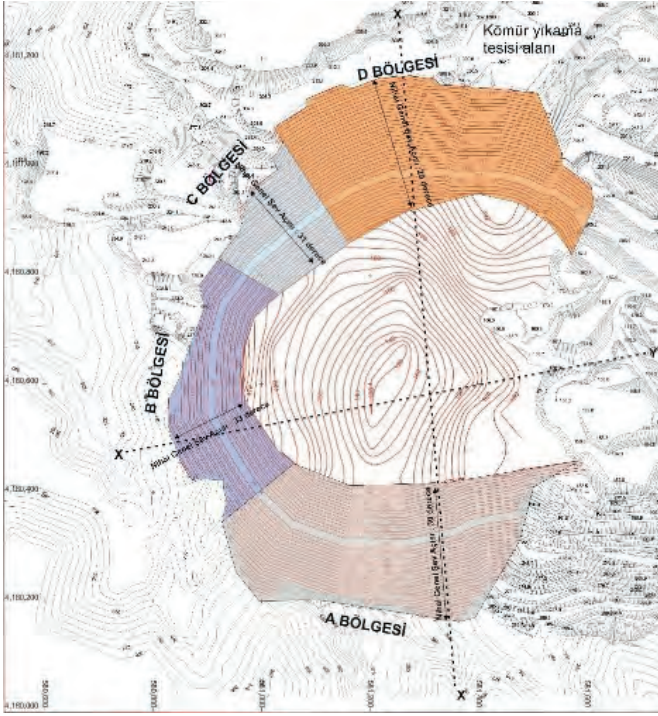


(b) Nihai kısmi şev açısı  $31^\circ$  için basamak geometrisi

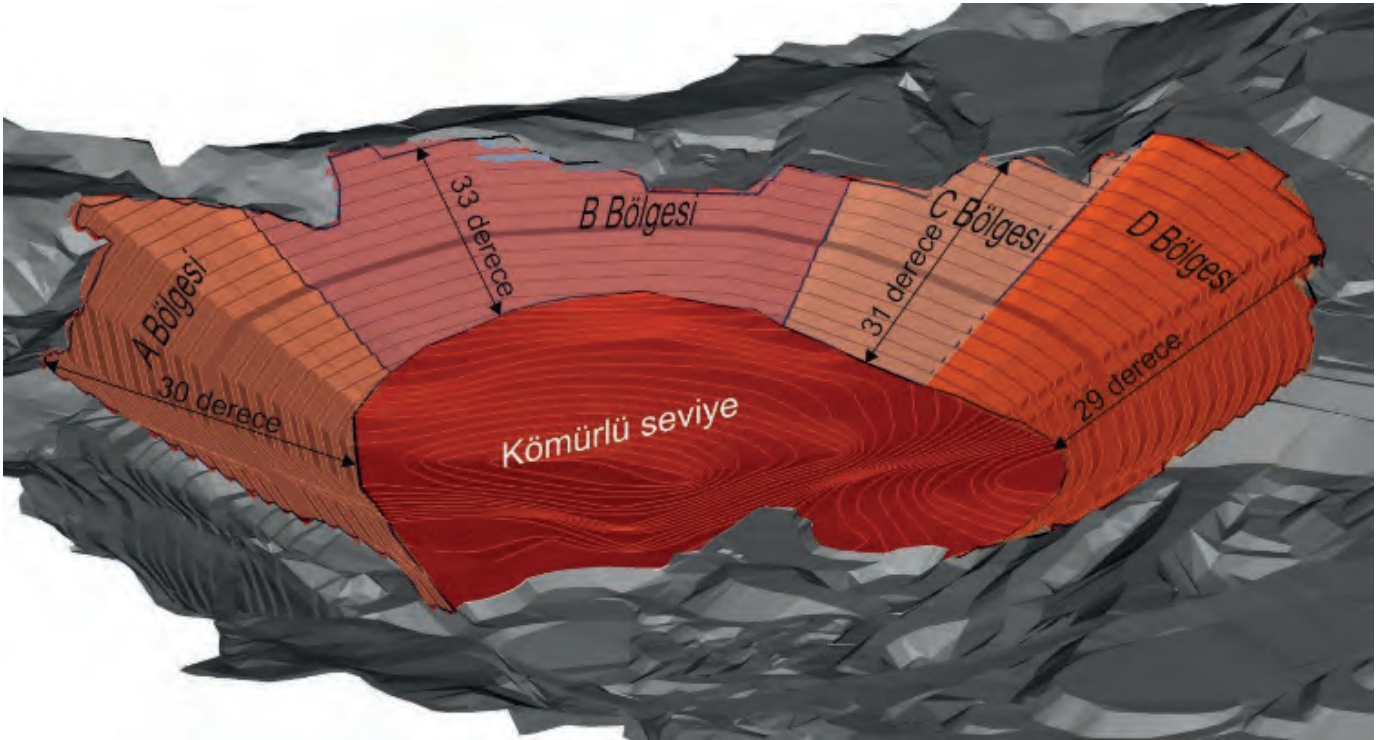


(c) Nihai kısmi şev açısı  $30^\circ$  için basamak geometrisi

Şekil 10. Sahada uygulanması önerilen basamak geometrileri



Şekil 11. Sahanın batı kısmında tanımlı kömür rezervinin açık ocak yöntemiyle üretilmesi sonucunda oluşacak nihai şevler için genel şev açıları değerleri ve bölgeleri



Şekil 12. Sahanın batı kısmında tanımlı rezervi için açık işletme nihai ocak şevleri perspektif görüntüsü



## 5 SONUÇLAR

Bu bildiriye, açık işletme kömür sahasında madencilik faaliyetlerinin emniyetli ve tekniğine uygun devam edilebilmesi için ocak sahası ve çevresini kapsayan jeolojik yapının ortaya konulması, hidrojeolojik özelliklerinin tanımlanması ve haritalanması, açık ocak işletmesinin şev emniyeti açısından değerlendirilmesi ve devam eden süreçte dekapaj kazısı ve kömür üretimi yapılacak bölgeler için şev stabilite analizlerinin gerçekleştirilerek açık işletme tasarım parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar aktarılmıştır.

Belirli bir derinliğe ulaşmış açık kömür maden işletmelerinde devam eden kazı çalışmaları için şev stabilitesi kazı emniyeti açısından belirleyici olmaktadır. Diğer taraftan kazı miktarları projelerin ekonomisini belirlemektedir. Bu çerçeveden değerlendirildiğinde hem öncelikli olarak kazı emniyetinin sağlanması hemde mümkün olan en az miktarda kazı yapılarak projelerin ekonomikliğinin devam etmesi bu tür açık kömür maden ocaklarında kritik karar verme süreçlerini oluşturmaktadır. Örnek olarak bu bildiriye bir açık kömür maden işletmesinin yaklaşık 200 m derinliğe kadar devam eden kömür rezervinin üretilmesi şartları şev stabilitesi açısından ortaya konulmuştur. Bildiriye amaçlanan benzer durumlarda karşılaşılan teknik elemanara değerlendirme sürecinin ortaya konulmasıdır.

Şev stabilite analizlerinde önemli yer tutan bölgenin jeolojik istiflenmesi, arazi çalışmaları ve sondaj logları yardımı ile belirlenmiştir. Bu bildiriye ele alınan sahada geçmiş yıllarda yapılmış sondaj çalışmaları ve çalışma kapsamında yapılmış arazi çalışmalarıyla 6 adet fay tanımlanmıştır. Bu fayların üretim esnasında şev stabilitesini etkileyebilme potansiyelleri bulunmaktadır. Ocakta birimlerde gözlenen süreksizlikler ölçülerek

baskın kırık sistemleri belirlenmiş ve bu yapılar stabilite analizlerinde kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında açılan 7 adet gözlem sondajıyla sahanın hidrojeolojik haritası ortaya konmuştur. Oluşturulan yeraltı suyu haritasında yeraltı suyunun topoğrafyaya uyumlu bir hareket gösterdiği ve güney batı yönlü bir harekete sahip olduğu saptanmıştır. Yüzey suları sadece yağışlı dönemlerde kısa süreli olarak kireçtaşları içindeki fay zonlarından yüze ulaşabilmektedir. Maden sahası içerisinde veya yakın çevresinde herhangi bir devamlı kaynak gözlenememiştir.

Sahada şev stabilite çalışmalarında kullanılmak üzere, hidrojeolojik amaçla gerçekleştirilen karotlu sondajlardan numuneler alınarak formasyonların mekanik mukavemet özelliklerinin belirlenmesine yönelik testler yapılmış ve test sonuçlarına bildiriye yer verilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, üretime konu olan kömür sahası, topoğrafya yüksekliği, kömür tabaka eğimi, taban kili özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmiş ve inceleme alanı 4 farklı bölgeye ayrılarak değerlendirmeler yapılmıştır. İncelenen sahada Güney şevlerindeki A Bölgesi için genel nihai şev açısı  $30^{\circ}$ , Batı şevlerindeki B bölgesi için  $33^{\circ}$ , Kuzey-Batı şevlerindeki C Bölgesi için  $31^{\circ}$ , Kuzey şevlerindeki D Bölgesi için  $29^{\circ}$  olarak tespit edilmiştir. Bu şev açılarını oluşturabilmek için, en fazla 8 basamakta bir  $15^{\circ}$ 'lik düzlük bırakılması ve basamak genişlikleri ile genel şev açılarının oluşturulması projelendirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Verma, D., Kainthola, A., Thareja, R. ve Singh, T. N., 2013. Stability Analysis of an Open Cut Slope in Wardha Valley Coal Field, *Journal Geological Society Of India*, 17, 804-812.
- Dora, O. Ö., 1981. Petrology and feldspar investigation in Menderes Masif/Westanatolia, *Earth Sciences*, sayı, 7, 54-63.
- Evcen, E., 2005. Şahinali (Aydın) Neojen Havzasındaki Kömürlerle Ara Tabakalı Killerin Mineralojisi, Oluşumu ve Ekonomisi. *Yüksek lisans tezi*.

Hoek, E., Bray, J., 1973. Rock Slope Engineering,  
*Inst. Mining and Metall, Londra.*

# Reçine Enjeksiyonlu Kaya Saplamlarının Zayıf Kaya Birimlerinde Çekme Dayanımının İncelenmesi

## *Investigation of Pull-Out Strength of Resin Grouted Rock Bolts in Weak Rock Masses*

İ. F. Öge

*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*

E. Kahraman, Ç.Koçak

*Polyak Eynez Enerji Üretim A.Ş.*

**ÖZET** Zayıf kaya kütleleri içerisinde sürülen maden desandresinde kaya saplama ve halat saplama çekme testleri uygulanmıştır. Reçine kartuşları ile enjeksiyonlanmış kaya saplamları ve halat saplamlar, farklı nedenlerden dolayı yenilebilirler. Ancak, zayıf zemin içerisinde en sık rastlanan yenilme türü, ankraj malzemesi (enjeksiyon) ve kaya yüzeyi arasındaki makaslama yani bağlanma dayanımı ile ilgilidir. Yerinde gerçekleştirilmiş çekme testlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek sunulmuştur. Bu bulgular, zayıf zeminlerde, reçine enjeksiyonlu saplamların tasarımında kullanılabilir olacaktır.

**ABSTRACT** Rock bolt and cable bolt pull-out tests were carried out in a decline being driven through a weak rock mass. Resin grouted rock or cable bolts can fail due to several reasons. Save that, the most frequently faced failure type is related to the grout-rock interface bonding strength. Findings on pull-out tests carried out on site are evaluated and presented. The findings can be used in the design works for resin grouted bolting in poor ground.

## 1 GİRİŞ

Kaya saplamları madencilik ve tünelcilik uygulamalarında uzun süredir yaygın şekilde kullanılmakta olan bir tahkimat elemanıdır (Hoek, 2007). Kaya saplamlarını kayaya bağlanma yöntemine göre (mekanik, enjeksiyonlu veya sürtünme), saplama malzemesine göre (bulon, nervürlü donatı malzemesi, fiberglass veya halat saplama) ayrılabilirliği gibi birkaç yöntemin veya sistemin birleşiminden oluşan kaya saplama türleri de üretilmektedir (kendinden delen ankraj-IBO bulon, enjeksiyonlu-mekanik, şişen-kendinden delen gibi). Ayrıca, enjeksiyonlu kaya saplamları, enjeksiyon malzemesine göre (çimento bazlı, reçineli, poliüretan ve diğer kimyasal malzemeler), enjeksiyonlama yöntemine göre (reçine kartuşu, hortum iletimi, PG, SN bulon, basınçlı enjeksiyonlama) ayrılabilir, (Hutchinson ve Diederichs, 1996). Halat saplamlar ise genellikle uzun

ankraj gerektiren ve nispeten dar alanlarda uygulamaya imkan verdiği için tercih edilmektedir. Bu sorun aynı zamanda kaplin vasıtası ile birbirine eklenen parçalardan oluşan kaya saplamlarının kullanılması ile de çözülebilir. Ayrıca, halat saplamlar tekli veya çoklu olarak kullanılarak kapasiteleri artırılabilirliği gibi kuş kafesi gibi genişleyen kısımlar veya merkezleyiciler oluşturulabilmekte çeşitli sarım tip ve kapasitelerde üretilmektedirler. Kaya saplamları kalıcı veya geçici destek unsuru olabilmektedirler.

Türkiye’de tünelcilik faaliyetlerinde kaya saplamlarının çeşitli türleri yaygın şekilde kullanılmaktadır. Kaya saplamları nispeten büyük üretim kapasiteli metalik yeraltı ocaklarında da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Güncel olarak, yeraltı kömür madenciliğine bakıldığında, özellikle nispeten büyük işletmelerde yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Zemin koşullarına bağlı olarak uygun seçilen kaya

saplamları, püskürtme beton, çelik tahkimat, kafes iksa gibi destek elemanları ile bütün bir sistem oluşturulabildiği gibi tek başına veya çelik hasır benzeri elemanlar ile birlikte kullanılabilir.

Kaya saplamalarının yerleştirildikleri zemine uygunluklarını, çekme performanslarının sınanması, tasarım kontrolü gibi amaçlar ile kaya saplaması çekme testleri uygulanmaktadır.

Çalışma kapsamında arazi ölçeğinde kaya ve halat saplaması çekme testleri yapılarak, kaya kütle sınıfları ile çekme dayanımı arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmış ve uygulamaya dönük değerlendirmeler yapılmıştır.

## 2 REÇİNE ENJEKSİYONLU KAYA SAPLAMALARIN ÇEKME DAYANIMI

Reçine kartuşu genellikle silindirik paketlenmiş iki komponentli kimyasal malzemeden oluşur (Şekil 1). Reçine kartuşları çok sayıda firma tarafından üretilmektedir. Bunların hem şekli hem de kimyasal içerikleri farklı olmakta, değişik kaya türlerinde birbirlerine göre avantaj sergileyebilmektedirler.

Uygulamada genellikle delik dibine 30 saniye gibi kısa süre içinde katılan ve dayanımını erkenden kazanan reçine kartuşu yerleştirilirken, geriye kalan reçine kartuşları genellikle daha uzun sürede katılan modellerden seçilmektedir (Hoek, 2007). Genellikle üreticiler, katalizör bileşeninin miktarını değiştirerek bu zamanı değiştirmektedirler.



Şekil 1. Reçine kartuşları ve kaya saplamaları

Delige kaya saplamasını yerleştirme performansına göre uygun priz alan ürün seçilebilir. Reçine kartuşları ile kaya saplaması uygulanmasında delik dibine kaya saplaması dayanmalı, reçine kartuşu yüklenmiş delige saplama yüksek dönme hızı ile itilirken reçine kartuşlarının parçalanması sağlanır. Bu işlem sırasında kaya saplaması dönüş yönü ile saplama nervür deseni uyumlu olmaz ise; reçine malzemesi delik dışı yönde sürüklenecektir. Delik çapı, kaya saplaması çapından 5-10 mm arasında geniş olduğu durumda reçine karışımı başarılı şekilde sağlanacağından dolayı daha iyi sonuçlara erişilmesi mümkündür (Ulrich, vd., 1989). Delik çapı büyüdükçe karışım kalitesi etkilenebilmektedir. Ancak, zayıf zemin birimlerinde bu değer üzerine çıkmak gerekebilmektedir. Bu durumda saplama çekme dayanımını doğrulamak yararlı olacaktır. Reçine kartuşu üreticisinin doğru uygulama önerilerini dikkate almak da çok önemlidir. Ayrıca reçine kartuşu yerine pompalanabilir enjeksiyon malzemesi kullanıldığında, delik çapının artırılması, kaya-enjeksiyon ara yüzü tutunma dayanımının artmasına yol açar ve zayıf zeminlerde bu yol izlenebilir.

Kaya saplamalarının çekme davranışını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır, (Aldorf ve Exner, 1986, Kılıç vd., 2002). Bunlardan ilk olarak kullanılan saplama malzemesinin dayanımı ve çapına bağlı olarak artan yük taşıma kapasitesi bilinmelidir. Üretici firmalardan bilgi edinilerek minimum dayanımları öğrenilebileceği gibi (özellikle split-set veya şişen-genişleyen saplamalar için), inşaat donatı çeliği gibi malzeme ile saplama uygulaması yapılacağı zaman aşağıdaki bağıntı kullanılabilir.

$$P_{s.kopma} = \frac{(\pi \times D_s^2 \times \sigma_{s,ult})}{4000}$$

Burada,  
 $P_{s.kopma}$ : Saplamanın kopma dayanımı (kN),  
 $D_s$  (mm): Saplama çapı,  
 $\sigma_{s,ult}$ : çelik kalitesine bağlı olan kopma mukavemeti (MPa veya N/mm<sup>2</sup>)  
olarak verilmiştir.

Tasarımda, çeliğin yenilme (akma) mukavemeti dikkate alınarak da çalışma yapılabilir. İçinde delik bulunduran saplamalar için hesap yapılırken iç deliğin

alanı çıkartılarak kesit alanı bulunmalıdır. Dikkate alınması gereken önemli bir nokta da nervürlü donatı çeliği kullanılırken dış açılması ile küçülen çap değeri dikkate alınmalıdır. Çelik kalitesi zemin koşullarına göre seçilebilmektedir. Ancak, baskılı veya yüksek deformasyon gösteren zeminlerde, kopma uzaması ve mukavemet değerleri yüksek çelik kullanılması yararlı olacaktır. Ayrıca, saplama paterni de ne kadar yük bineceğini belirleyen önemli faktörlerden biridir. Burada, kaya saplama alanının eksenel yük aldığı durum incelenmiş olup, makaslama yüklerine karşı mukavemetin çok daha az olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, kaya saplama alanının yerleştirilirken, yüklemenin eksenel olacak şekilde ayarlanması, kapasitesinin tam olarak kullanılmasına yarayacaktır. Ayrıca, saplama duvara tam olarak dik açıda yerleştirilemeyecek ise küresel başlıklı somun ve bombeli plaka kullanılması önem taşır. Aksi takdirde, saplama, delik ağzı ve somun bölgesinde istenmeyen yüklere maruz kalır.

Diğer bir parametre ise, çimento şerbeti veya reçine malzemesinin (enjeksiyon veya bağlayıcı malzeme) makaslama mukavemetidir. Çimento-su şerbetinin kür zamanı, su/çimento oranına bağlı olarak bu değer değişecektir. Çimento bazlı enjeksiyonlarda makaslama mukavemeti test edilebileceği gibi başma/makaslama mukavemeti oranının 2,5-4 arasında olduğunu gösteren çalışma bulunmaktadır (Yücel, 2007). Kimyasal enjeksiyon malzemeleri için ise; makaslama dayanımı değerleri üreticilerden sağlanabileceği gibi doğrudan ve dolaylı olarak bu değerlerin kestirilmesi de mümkündür. Enjeksiyon malzemesinin yenilmesinden dolayı kaya saplama alanının yerinden çıkması koşulu dikkate alınarak hesaplama yapılır ise:

$$P_{bg} = \frac{\pi \times D_s \times L_b \times \tau_g}{1000}$$

Burada,

$P_{bg}$ : Saplama çekme yükü (kN),  
 $L_b$ : Enjeksiyonlu (bağlı veya ankrajlı) uzunluk (mm),  
 $D_b$ : Kaya saplama alanı çapı (mm),  
 $\tau_g$ : Enjeksiyon malzemesinin makaslama dayanımı (MPa veya N/mm<sup>2</sup>),  
 olarak alınabilir.

Aynı eşitlikte  $\tau_g$  değeri,  $\tau_{gb}$  değeri (saplama-enjeksiyon malzemesi arayüzü

makaslama veya bağlanma mukavemeti) ile değiştirildiğinde kaya saplama alanının enjeksiyon-saplama ara yüzünden yenilerek çıkmasına yol açacak yük bulunur.  $\tau_{gb}$  değeri, saplama alanının geometrik özelliklerine ve enjeksiyon malzemesine göre değişir.

Zayıf kaya koşullarında sıklıkla rastlanan yenilme türü ise, kaya saplama alanının enjeksiyon (bağlayıcı malzeme) ile kaya ara yüzünde oluşan kaymadan kaynaklanır. Burada kayanın mukavemeti enjeksiyon ile temas eden delik içi yüzey temas alanı üzerinde geçerli olan makaslama (bağlanma) dayanımı,  $\tau_{gr}$  rol oynar. Bu değer, kaya malzemesinin yapısal ve dayanım özelliklerine göre değişebildiği gibi enjeksiyon malzemesinin özelliklerine göre de değişir. Dolayısı ile bu değer en doğru hesaplanabileceği yöntem yerinde çekme testleri yapmaktır. Bu yenilme türüne göre hesap yapılacak olur ise;

$$P_{gr} = \frac{\pi \times D_h \times L_b \times \tau_{gr}}{1000}$$

$P_{gr}$ : kaya saplama alanının çekme yükü (kN),  
 $D_h$ : delik çapı (mm),  
 $L_b$ : enjeksiyonlu (bağlı veya ankrajlı) uzunluk (mm),  
 $\tau_{gr}$ : enjeksiyon-kaya arayüzü makaslama (bağlanma) dayanımı olarak verilebilir.

Bilinen ve varsayılan değerler ile tasarım yapılabileceği gibi çekme testleri yapılarak bilinmeyen mukavemet değerleri de geri hesaplama yapılarak bulunabilir. Reçine kartuşu kullanıldığında enjeksiyonlu uzunluk  $L_b$ :

$$L_b = \left[ \frac{V_r}{\pi \times (D_h^2 - D_s^2)} \right]$$

olarak hesaplanabilir.

Burada,  
 $V_r$ : (mm<sup>3</sup>) cinsinden reçine kartuşlarının toplam hacmidir.

Önemli bir husus da reçine kullanımında çatlaklara sızıntı yaparak enjeksiyon uzunluğunun azalması veya tam ankraj sağlanamaması ihtimalidir. Bu gibi durumlar ön görüldüğünde, kaya saplama alanının uygulanması yapmadan önce enjeksiyon yapmak veya pompalanabilir bir bulon enjeksiyon yöntemi kullanmak uygun olabilir.

Tasarım yapılırken güvenlik katsayısı hesaplamalara dahil edilerek bolt çekme dayanımı indirgenebilir. Tasarımcı sahadan aldığı veriyi aynı koşullarda geçerli olmak üzere doğrudan da kullanabilir.

Genellikle sedimanter kaya birimlerinde 20mm çaplı kaya saplaması ve reçine uygulaması ile enjeksiyonlu metre başına 300 – 600 kN (30–60 ton) çekme kapasitesi elde edilebildiği raporlanmıştır, (Galvin, 2016). Bu değer 1100 kN/m değerine kadar da erişebilmektedir. Amasra bölgesinde karbonifer birimler içerisinde sürülen galerilerde, 22mm çap ve 2,35m uzunlukta kaya saplamalarında gerçekleştirdikleri saplama çekme testlerinde 160 kN (~80kN/m) değerlerini raporlamışlardır, (Soyer, vd., 2013).

### 3 KAYA SAPLAMASI ÇEKME TESTİ UYGULANAN KAYA KÜTLESİ İLE İLGİLİ BİLGİLER

Kaya saplaması çekme testi Soma Bölgesinde bulunan bir yeraltı kömür ocağında uygulanmıştır. Soma bölgesi jeolojisi ile ilgili jeolojik çalışmalar mevcuttur (İnci, 1998). Soma bölgesinde desandre kazısı sırasında birçok jeolojik birimden geçilmektedir. Burada gerçekleştirilen kaya saplaması çekme testleri, P2ab olarak adlandırılan birimde gerçekleştirilmiştir (Aksoy vd, 2016). Kazı yüzeyinde/aynada jeolojik birimler incelendiğinde slump yapısı olarak öngörülen kıvrımlanmalar, laminalı veya bantlı kiltası-silttaşı-marn aralanmalarına rastlanmaktadır (Tüysüz ve Genç, 2014). Yer yer yapısal olarak düzgün ve az süreksizlik içeren marn birimleri stabiliteyi arttırırken, sık tabakalanma aralığı ile kil taşları, kalın ve zayıf kiltası bantları, 400-700m gibi örtü kalınlığı olduğu durumlarda sıkışan/baskılı (squeezing) kaya kütlesi koşulları doğurabilmektedir. Kaya malzeme dayanımının ( $\sigma_{ci}$ ) düşük olduğu geçişler, kıvrımların, ince bant, tabaka kalınlıkları ve laminalanma, yapraksı yapıdaki kaya kütlelerinin olduğu bölgeler tünellilik açısından zorluk doğuran bölgeler olarak ortaya çıkmaktadır. Yer yer masif volkanik sokulumlar, dayanımı yüksek diğer sedimanter kaya birimleri, özellikle yapısal olarak da iyi durumda olduğunda (az süreksizlik sayısı ve iyi süreksizlik yüzey kalitesi) zemin kendini taşıyır duruma gelmektedir.

RMR (Bieniawski, 1989) ve Q-Sistemi (Barton, vd., 1974) kaya kütle sınıflama sistemleri olup GSI (Jeolojik Dayanım İndisi), (Hoek, 2007) kütlelerin sadece yapısal ve süreksizlikler açısından kalitesini göstermektedir. GSI, kaya kütle dayanım ve deformabilite parameterelerinin kestiriminde kullanılmakta olup, burada kaya kütlelerinin kalitesi hakkında fikir vermesi için kullanılmıştır. Değerler saptanırken ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Aşağıdaki değerler (Çizelge 1) desandre sürülürken aynadan elde edilmiş aynı zamanda desandre için yapılmış olan çok sayıda sondaj, geoteknik log ve laboratuvar deneyinden yararlanılmıştır. Yeraltı suyu durumu için yer yer nemli veya ince sızıntı şeklinde iken, kaya birimlerinde suya karşı hassasiyet bulunduğunu belirtmek gerekir.

Çizelge 1. Arazi çalışmalarından elde edilen veriler

Örnek tipi	Deney yeri (m)	RMR <sup>89adj</sup>	Q-Sistemi	GSI	$\sigma_{ci}$ (MPa)
Kaya saplaması	1+640	18-28	0.017-0.111	10-35	5-20
	1+660	14-19	0.013-0.083	10-35	5-20
	1+680				
Halat saplama	1+860	28-45	0.056-0.222	20-50	5-50

Saplama çekme testi için tipik düzenek şekil 2 de verilmiştir.

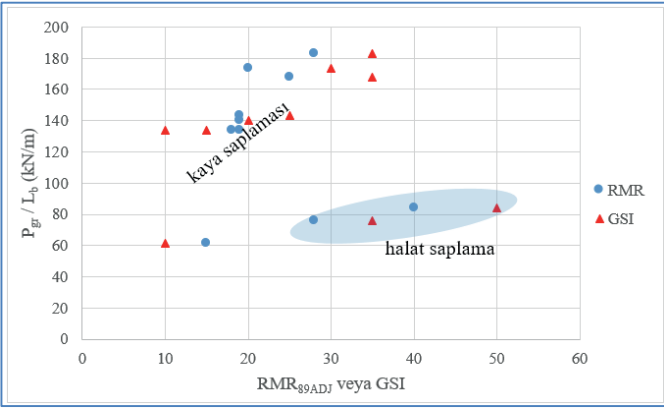


Şekil 2. Tipik saplama çekme testi düzeni

Kaya saplamaları 25mm çapta, 3m uzunlukta ve en az 340 kN kopma yükü kapasitesine sahiptir. Halat saplama ise 15,24 mm çapta, 6,3m uzunlukta, kopma yükü en az 230 kN' dur. Yapılan deneylerin hiçbirisinde saplama kopmamıştır. Bütün deneylerde saplamaların reçine enjeksiyon malzemesi ile kaya temas (ara yüzü)

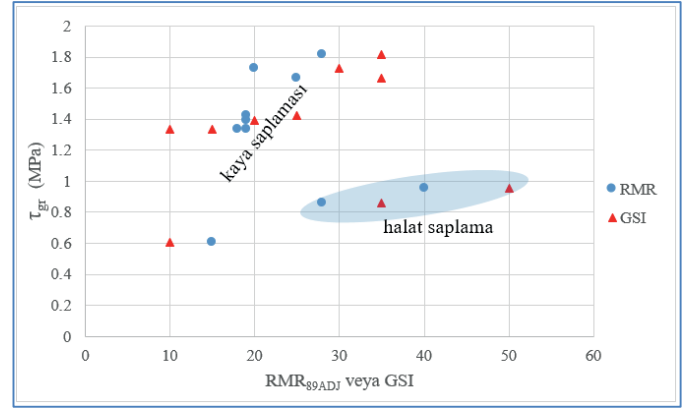
yüzeyinden yenildiği anlaşılmıştır. Kaya saplamaları 43 tona yaklaşan yüklere kadar kopmamış, yenildikten sonra sünme davranışı göstermiştir ve nihayetinde bahsedilen şekilde yerlerinden çıkmaya başlamışlardır. Kaya saplamaları 32 mm, halat saplamalar 28 mm delik çapı içine yerleştirilmiştir.

Verilen hesaplama yöntemlerine göre enjeksiyonlanmış, yukarıda belirtilen delik çapları için metre başına yük kapasitesi ( $P_{gr} / L_b$ ) ve enjeksiyon-kaya arayüzü bağlanma dayanımı ( $\tau_{gr}$ ) verilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak Şekil 3 ve Şekil 4’te sunulan grafikler elde edilmiştir. Şekil 3 ele alındığında, kaya saplamaları için RMR değeri 10 iken, enjeksiyonlanmış metre uzunluk başına 60-130kN değerine erişilmektedir. RMR 20-30 aralığında ise 140-180kN/m değerlerine rastlanmaktadır. Halat saplamalar ise daha yüksek (30-40) RMR değerinde 80-90kN/m değeri almıştır. Buradan yola çıkarak halat saplamanın malzeme kopma dayanımına (230kN) erişmek için 3m enjeksiyonlanmış uzunluk olması gerektiği yargısına varılabilir. Benzer bakış açısı ile GSI kullanılarak da aynı hesapları yapmak mümkündür. Bu bulgular çalışmadaki delik ve saplama çapları dikkate alınarak doğrudan kullanılabilir.



Şekil 3. Enjeksiyonlanmış metre başına yük kapasitesinin kaya kütle sınıfı ile ilişkilendirilmesi

Şekil 4 incelendiğinde, kaya yüzeyi ile enjeksiyon malzemesi ara yüzünde oluşan bağlanma dayanımı verilmiştir. Şekil 4’teki veriler, farklı delik çapları için, saplama çekme dayanımlarının ( $P_{gr}$ ) hesaplanmasında kullanılmasına imkan vermektedir.



Şekil 4. Enjeksiyon kaya bağlanma dayanımı ve kaya kütle sınıfı ile ilişkilendirilmesi

#### 4 SONUÇ VE ÖNERİLER

- Reçine kartuşları dayanımını birkaç dakika içerisinde kazanan malzemeler olması nedeni ile çimentolu enjeksiyon malzemelerine karşı hız avantajları bulunmaktadır. Reçine kartuşları hemen kaya destekleme görevini yerine getirebilirler.
- Kaya saplamaları ve halat saplamaların zayıf zeminlerde reçine kartuşu ile enjeksiyonlama işi yapıldığında saplama çekme dayanımının ne aralıkta yer aldığı verilmiştir. Benzer amacı taşıyan çalışmalar genellikle sağlam kaya bloğu veya beton blok içerisine yerleştirilen en fazla 30-50 cm uzunluğunda deliklerde ve laboratuvar ortamında yapılmaktadır. Bu tip detaylı ve kontrollü laboratuvar çalışmaları yararlı olmakla beraber bu çalışmada yerinde ve gerçek uzunluklarda deneyler uygulanmıştır. Sahada karşılaşılan çatlaklı ve çok sayıda süreksizlik içeren sedimanter kaya kütlesi içerisinde bu deneylerin yapılıp raporlanmış olması problemin farklı bir şekilde ele alınmasını sağlamıştır. Aynı zamanda, kaya-enjeksiyon arayüzü bağlanma dayanımı değerinin verilmesi, farklı delik çapları ve uzunlukları için tasarım mühendisinin yararlanabilmesini sağlamaktadır. Bu değerler göz önüne alındığında kaya saplamaları için RMR<sub>89adj</sub> değeri 20-30, GSI değeri

17-27 civarında iken  $\tau_{gr}=1.3\sim 1.8$  MPa aralığında yer almakta, bir örnek için daha zayıf kaya kütlelerinde  $\tau_{gr}=0.6$ MPa değeri elde edilmiştir. Halat saplamalar ise RMR<sub>89adj</sub> 25-40, GSI değeri 28-50 aralığında iken  $\tau_{gr}=0.85\sim 1$  MPa aralığında dayanım göstermiştir.

- iii. Çalışma kapsamında delik çaplarına göre enjeksiyonlanmış (bağlı) uzunluk başına saplama çekme kapasiteleri de verilmiştir. Burada dikkat çekici olan husus, daha iyi kaya kütleleri koşullarında teste tabii tutulan halat saplamaların bağlanma dayanımlarının daha düşük olmasıdır. Burada etkenin, halat saplama çapı ile delik çapı farkının 13 mm' den fazla olması ve halat saplamanın daha esnek bir malzeme olmasından dolayı reçine malzemesinin karıştırılma performansında düşüklük olduğu düşünülmektedir. Daha yüksek çekme kapasiteleri istenildiğinde hortum vasıtası ile pompalanabilir enjeksiyon malzemeleri delik içine gönderilerek zemin iyileştirilmesi ve ankraj işinin beraber yapılması da sağlanabilir. Her durumda, zayıf zemin içerisinde kaya saplamaları ve halat saplamaların enjeksiyonlu uzunluk başına bağlanma dayanımları, bu destek sisteminden verimli şekilde yararlanılabileceğini göstermektedir.
- iv. Saplama çekme kapasitelerinin bilinmesi, gerdirmeye miktarlarının belirlenmesinde de yararlı olur veya istenilen gerdirmeye miktarına uygun enjeksiyon uzunluğu, delik çapı, saplama dayanımı gibi parametrelerin uyumunun kontrol edilmesinde kullanılabilir.

Bieniawski, Z., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. New York, Wiley.

Galvin, J.M., 2016. Ground Engineering - Principles And Practices For Underground Coal Mining

Hoek, E., 2007. Practical Rock Engineering, Rocscience Inc.

Hutchinson, D.J., Diederichs, M.S., 1996. Cablebolting In Underground Mines, Bitech Publishers Ltd., Kanada.

Inci, U., 1998. Lignite And Carbonate Deposition In Middle Lignite Succession Of The Soma Formation, Soma Coal Field, Western Turkey, Int. J. Coal Geology, Vol. 37, Nos. 3-4, Pp.287-313.

Kılıç, A., Yaşar, E., Çelik, A.G., 2002. Effect Of Grout Properties On The Pull-Out Load Capacity Of Fully Grouted Rock Bolt. Tunnelling And Underground Space Technology 17 (4), S.355-362.

Soyer, E., Ersoy, C., Şenkal, S.S., Onargan, T., Hattat Enerji Amasra-B Sahası Ana Kat Galerileri Hazırlık Çalışmaları, Uygulanan Tahkimat Yöntemi Ve Aletsel Gözlemler. 2.UYAK, Kasım, 2013.

Tüysüz, O., Genç, Ş.C., 2014. Elmadere Kömür Yatağının (Soma Kömür Havzası) Jeolojisi. Proje Raporu, Polyak.

Ulrich, B.F., Wuest, W.J., Stateham, R.M., 1989. Relationships Between Annulus Thickness And The Integrity Of Resin-Grouted Roof Bolts. Bureau Of Mines, RI 9253.

Yücel, A., 2007. Silis Dumanı Ve Akışkanlaştırıcı İlavelerinin Tam Dolgulu Kaya Saplamalarının Dayanımına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, FBE.

## 5 KAYNAKLAR

Aksoy, C. O., Küçük, K., Uyar, G. G., 2016. Long-Term Time-Dependent Consolidation Analysis By Numerical Modelling To Determine Subsidence Effect Area Induced By Longwall Top Coal Caving Method, Int. J. Oil, Gas And Coal Technology, Vol. 12, No. 1

Aldorf, J., Exner, K., 1986. Mine Openings: Stability And Support. Elsevier, Oxford, Amsterdam, Tokyo.

Barton, N., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering Classification Of Rock Masses For The Design Of Tunnel Support. Rock Mech., 4, S.189-239.



# TTK Üzülmez Müessesesi Asma Dilaver İşletmesinde Reçineli Kaya Saplamlarının Kullanımının Değerlendirilmesi

## *Evaluation of the Use of Resin Grouted Rockbolts in the Asma Dilaver Mine of TTK Uzulmez Colliery*

Ö. Yılmaz

*Bülent Ecevit Üniversitesi, ZMYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Zonguldak*

D. Acun

*TTK Üzülmez Müessesesi, Zonguldak*

E. Günay

*Bülent Ecevit Üniversitesi, ZMYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Zonguldak*

**ÖZET** Kaya saplamları; maden ve inşaat mühendisliği çalışma alanlarında, özellikle ana nakliyat yolları ve tünellerde, üretim ve kazı boşluklarında, şev duraylılığının sağlanmasında, sağlamlaştırma ve tahkimat elemanı olarak 19. yüzyılın başından beri kullanılmaktadır. Mekanik ankrajlı kaya saplamları, zayıf kayalarda ve patlatma etkisiyle titreşim oluşan formasyonlarda gevşeme eğilimindedirler. Tahkimatın galeri veya taban yolu arınına çok yakın kurulması gerektiği veya ayak ilerlemesi gibi zaman içerisinde gerilme durumunda değişiklik olması beklenen koşullarda, dolgu ankrajlı kaya saplamları mekanik ankrajlı saplamların yerine kullanılabilir. Türkiye Taşkömür Kurumu (TTK) Üzülme Müessese'sinde sürülmekte olan -230/-320 band desandrede aşırı kırıklı formasyonların geçilmesi nedeniyle, bahsi geçen bu desandre ve desandre içerisindeki kavşak noktalarının duraylılığını artırmak amacıyla, dolgu ankrajlı (reçineli) kaya saplamlarının kullanılması düşünülmektedir.

Bu çalışma, TTK ocaklarında ilk defa kullanılacak olan reçineli kaya saplamlarının galeri duraylılığını arttırmada oluşturacağı faydaların araştırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca; bu uygulamanın başarıya ulaşması durumunda, kurumun diğer işyerlerinde de reçineli kaya saplamlarının kullanılmasının önünün açılması hedeflenmektedir.

**ABSTRACT** Rockbolts have been used in mining and civil engineering applications since the beginning of the 19th century, especially for strengthening and supporting purposes in tunnels, main transport roads, production and excavation entries in mines, and for ensuring slope stability. Mechanically anchored rock bolts tend to loose in weak rocks and formations exposed to vibrations due to explosions. Grouted rockbolts can be used in place of mechanically anchored rockbolts in situations where it is necessary to install the support too close to the gallery or headgate, or there is a change in stress distribution over time, e.g. face advancement. Since the formation is highly fractured, it is considered to use grouted (resinous) rockbolts in the -230/-320 incline which is being driven in Uzulmez Colliery of Turkish Hardcoal Enterprise (TTK) in order to increase the stability of both the incline and the junctions within the incline.

The aim of this study is to investigate the benefits of resin grouted rockbolts, which will be used for the first time in TTK mines, to increase the gallery stability. In addition, if this application succeeds, it is considered that the study encourages the further applications of resin grouted rockbolts in other mines of TTK.

## 1 GİRİŞ

Yeraltı madencilik faaliyetleri sırasında açılan galerilerin duraylılığının sağlanması havalandırma, nakliyat ve diğer gereksinimlerin karşılanması açısından oldukça önem taşımaktadır. Kaya saptamaları, maden ve inşaat mühendisliği çalışma alanlarında, özellikle ana nakliyat yolları ve tünellerde, üretim ve kazı boşluklarında, şev duraylılığının sağlanmasında, sağlamlaştırma ve tahkimat elemanı olarak 19. yüzyılın başından beri kullanılmaktadır. Kaya saptamalarının madencilik ve inşaat sektöründe kullanılmasının başlıca nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Her türlü kazı geometrisinde kullanılabilmesi,
- Kullanımının basit oluşu ve düşük fiyatlı olmaları,
- Mekanize edilebilir olması,
- Diğer tahkimat türleriyle beraber kullanılabilmesi,
- Havalandırmaya karşı az direnç göstermesi,
- Nakliyat aksaklıklarından etkilenmemesi,
- Yanıcı özellikte olmaması,
- Tür ve teknolojisindeki sürekli gelişmeler ve
- Kaya kütlesi ile çabuk etkileşim sağlaması.

Türkiye Taşkömür Kurumu (TTK) Üzülme Müessese'sinde sürülmekte olan -230/-320 band desandrede aşırı kırıklı formasyonların geçilmesi nedeniyle, bahsi geçen bu desandre ve desandre içerisindeki kavşak noktalarının duraylılığını artırmak amacıyla dolgu ankrajlı (reçineli) kaya saptamalarının kullanılması düşünülmektedir.

Bu çalışma, TTK ocaklarında ilk defa kullanılacak olan reçineli kaya saptamalarının galeri duraylılığını arttırmada oluşturacağı faydaların araştırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca; bu uygulamanın başarıya ulaşması durumunda, kurumun diğer işyerlerinde de reçineli kaya saptamalarının kullanılmasının önünün açılması hedeflenmektedir.

## 2 KAYA SAPLAMASI TÜRLERİ

Kaya saptamaları yapılmış oldukları malzemeye, çalışma prensiplerine ve kaya kütlesi içerisine yerleştirme şekillerine göre sınıflandırılmaktadır. Kaya kütlesi içerisine yerleştirme (ankraj) şekillerine göre başlıca üç tip kaya saptaması vardır (Stillborg, 1994);

- Mekanik ankrajlı (kama veya genişleme başlıklı),
- Dolgu ankrajlı (reçineli ya da çimentolu) ve
- Sürtünme ankrajlı (Split Set ve Swellex)

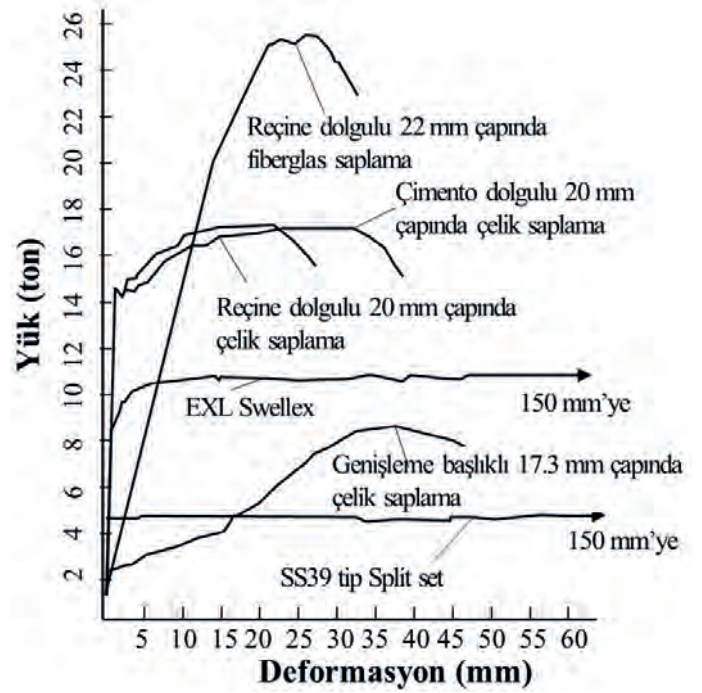
Genişleme başlıklı kaya saptaması en çok kullanılan mekanik ankrajlı kaya saptaması olup, diğer tüm çeşitlerin temel çalışma prensipleri genel olarak aynıdır. Ucuz olmaları, kurulduktan hemen sonra yük taşımaya başlamaları ve belirli bir torkla sıkılarak gerdirmeye uygulanabilir olmaları mekanik ankrajlı saptamalarının başlıca avantajları arasındadır. Mekanik ankrajlı kaya saptamaları sağlam kayalarda ve su gelirmesinin az olduğu koşullarda kullanılmalıdır. Kalıcı uygulamalarda ve yakın eklemler içeren ve yumuşak tipteki kayada kullanılmaya uygun değildir.

Mekanik ankrajlı kaya saptamaları zayıf kayalarda ve patlatma etkisiyle titreşim oluşan formasyonlarda gevşeme eğilimindedirler. Tahkimatın galeri veya taban yolu arınına çok yakın kurulması gerektiği veya zaman içerisinde gerilme durumunda değişiklik olması beklenen koşullarda (ayak ilerlemesi) dolgulu saptamalar mekanik saptamaların yerine kullanılabilir. Dolgulu kaya saptaması, herhangi bir mekanik ankraj içermeyen, genellikle nervürlü çelik çubuktan ibaret, kaya kütlesi içerisinde açılan deliğe yerleştirilen ve delik boyunca bir dolgu maddesi (reçine veya çimento) ile delik çeperine yapışması sağlanan bir sağlamlaştırma elemanıdır (Franklin and Dusseault, 1989; Hoek, 2007). Dolgulu saptamalarda gerdirmeye mümkün değildir, saptamadaki yük kaya kütlesinin hareketi ile sağlanır. Etkili bir kullanım için dolgulu saptamalar kaya kütlesinde aşırı bir yer değiştirme olmadan uygulanmalıdır.

Kaya saplamlarının uygulandığı kaya kütlelerinin aşırı yer değiştirmelere maruz kalması sonucu rijit çelikten imal edilmiş normal bir kaya saplama eğilebilir, kırılabilir veya kayadan kayarak çıkabilir. Bu gibi durumlarda dolgulu esnek kablolar daha rijit olan saplamların yerine kullanılabilirler. Kablolu kaya saplamları, genelde çelikten yapılan değişik boy ve tiplerdeki kabloların çimento dolgusu ile birlikte gerdirmesiz veya gerdirmeli olarak kaya kütleleri içerisinde açılan deliklere yerleştirilmesi esasına göre uygulanmaktadır. Yaygın olarak birçok telden oluşan esnek bir kablo özelliğinde olan kablolu kaya saplama, madencilik alanlarında gerdirmesiz ve tamamen dolgulu olarak kullanılırken inşaat mühendisliği sahalarında kalıcı olarak düşünüldüğü için ön gerdirmeli olarak kullanılırlar.

Sürtünme ankrajlı kaya saplamları ise çimento ankrajlı saplamalardan daha zayıf olmalarına rağmen çabuk yerleştirilmeleri ve dolguya ihtiyaç göstermemeleri nedeniyle büyük avantaja sahiptir. İki tip sürtünmeli kaya saplama vardır; "split set" ve "swellex". İki tipte de kaymaya karşı sürtünme tepkisi delik duvarına uygulanan radyal kuvvetle sağlanır. Sürtünme ankrajlı saplamlar hem saplama boyunca delik yüzeyine karşı radyal bir kuvvet uygular, hem de bu kuvvet ile oluşan sürtünme direnci ile ankraj sağlar. Sürtünmeli saplamlar geçici tahkimat için düşünülürler çünkü uzun dönem paslanma ve aşınma dayanımları düşüktür.

Bir kaya saplama sisteminin yük-deformasyon karakteristiğinin aslında kaya saplama sisteminin türüne bağlı olmasına rağmen, aynı kaya saplama türü için yük-deformasyon karakteristiği, saplamanın kurulmasıyla ilişkili faktörlere bağlı olarak oldukça değişebilmektedir. Tüm kaya saplamları için yük-deformasyon eğrilerini gösteren test sonuçları Şekil 1'de gösterilmektedir (Stillborg, 1994).



Şekil 1. Kaya saplamları için yük-deformasyon eğrileri (Stillborg, 1994).

### 3 KAYA SAPLAMALARININ ÇALIŞMA MEKANİZMASI

Rahatsız edilmemiş bakir kaya kütleleri, başka kuvvetlerin etkisi altında olmasa bile üzerinde bulunan tabakaların ağırlığından kaynaklanan düşey ve yatay basınca ve kaya kütlelerinin geçmişte maruz kaldığı jeolojik şartlara bağlı olarak sıfır olmayan gerilme bileşenlerine sahiptir. Bu değişik kökenli ve her türlü gerilmelerin bileşkesine birincil gerilme adı verilir. Yeraltında bulunan kaya yapısı içerisinde bir açıklık oluşturulurken, yer kabuğunda bulunan birincil gerilme durumu bu açıklık tarafından etkilenir ve arazi deformasyonuna göre açıklık çevresinde yeni bir gerilme dağılımı oluşur. Bu deformasyonun sonucunda kaya kütleleri yükleri oluşur. Bu durumda kullanılan çelik bağ ve ağaç tahkimatın amacı, ölü tabaka yüklerine karşı bir direnç yaratmak ve sonuçta bu yükü dengelemektir. Kaya saplamları ile tahkimatta ise bu durum biraz daha değişiktir. Kaya saplamları kaya kütlelerinin bir parçasıymış gibi davranarak, kaya kütlelerinin zaten var olan direncini harekete geçirir ve onu sağlamlaştırır. Kaya saplamları, farklı mekanizmalarla çalışarak kayanın güçlendirilmesini ve kendi kendini taşımasını sağlayabilmektedir.

Kaya saplamları ile yalancı tavan ana tavana veya zayıf tabakalar sağlam tabakalara bağlanmasına askıya alma mekanizması denir. Bu durumda saplamlar, askıya alınan tabakaların ölü yükünü taşımak zorundadır. Bu işlemi yaparken dikkat edilmesi gereken husus, sağlam kayaç içinde kalan ankraj kısmının yeterli uzunlukta olması gereğidir.

Ancak çoğu durumda, sağlam ve kendini taşıyabilen ana tabaka normal bir kaya saplamasının sarkan tabakaları askıya almak için ulaşabileceğinden çok daha uzakta bulunur. Bu gibi durumlarda, yatay süreksizliklerle birbirinden ayrılmış olan ince tabakaların, kaya saplamları ile birbirine tutturularak kalın bir kiriş gibi davranması sağlanır. Yalancı tavanın tabakalı yapıda olduğu lamineli kayaçlarda, çoğu durumda askıya alma ve kiriş oluşturma etkisi birlikte oluşur.

Eğilme dayanımının artması her zaman tavan duraylılığı için iyidir. Bazı durumlarda artan eğilme dayanımı kiriş üzerine fazladan tabaka yükü oluşturabilir. Kiriş artan eğilme dayanımı nedeniyle çekme modunda yenilmeyebilir ancak kirişin her iki ucunda kesme modunda yenilebilir. Bu durum, açıklığın bir ya da her iki üst kenarından düşey veya düşeye yakın bir şekilde yukarı doğru oluşan ve ilerleyen bir çatlak oluşmasıyla başlar. Bu çatlak kaya saplamlarının yatay ankraj yüksekliğinden ve/veya zayıf tabakalaşma düzlemlerinden daha üst bir seviyeye uzandığında kütleli bir tavan düşmesi gerçekleşmektedir (Peng, 1984). Bazen daha uzun saplama kullanımı sadece düşen kaya yüksekliğini arttırmaktadır.

Gevşemeleri ya da düşmeleri sonucu daha geniş gevşeme ya da göçüklere yol açabilecek kritik blokların kaya saplamlarıyla sağlam kaya kütleline tutturulmasına anahtarlar denilir. Tavan tabakası aşırı derecede çatlaklı ve bloklu ise, ya da yalancı tavan farklı doğrultularda bir veya birkaç eklem takımı içeriyorsa, kaya saplamları çatlaklar ve zayıflık düzlemleri boyunca büyük miktarda sürtünme kuvveti sağlarlar. Çatlak yüzeyleri boyunca kayma ve ayrılma böylece engellenmiş veya

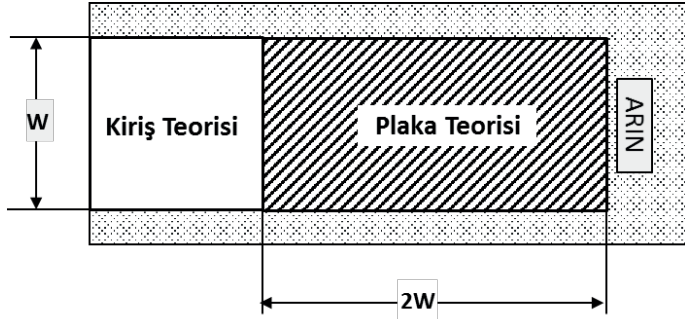
azaltılmış olur. Galeri üzerindeki tabaka ağırlığının büyük bir kısmı, doğal arazi kemerinin oluşmasıyla, galerinin yan duvarlarına transfer olmaktadır. Saplama uygulamasıyla arazi kemerinin altında gevşemiş olan geniş blokların anahtarlar etkisiyle süreksizlikler üzerindeki blok hareketi önlenir. Ayrıca sürtünme yaratıldığı için blokların yatay hareketlerine engel olunur. Böylece kritik bloklar daha sağlam kaya kütleline tutturulur.

Açıklık tavanının üzerinde oluşan gevşemiş bölgeye, kaya saplamları tarafından ön gerilme uygulanarak tahkimat yapılır. Böylece tavan kemeri oluşturularak gevşemiş kaya kütleli taşınır. Bu kemerin genişliği, saplamların aralıklarının ve uzunluklarının fonksiyonlarına bağlıdır.

### 3.1 Kaya Saplamlarının Kurulması

Bir galeri tavanındaki tabakalar, galeri arını önünde henüz kazılmakta olan arın ve yanlarda galeri yan duvarlarından destek alarak üç kenardan taşınmaktadır. Bu durum tipik bir plaka yüklemesi örneğidir (Şek. 2). Arının yaklaşık 2 genişlik kadar (2W) gerisinde ise arının tavanı taşıma etkisi gittikçe azalacak ve bu durumda tavan tabakalarının yüklenmesi iki mesnetli kiriş olacaktır. Arın gerisindeki tavan yüklemesi kiriş sistemine dönüştükçe tavan tabakalarının sarkma eğilimi de artacaktır. Bu nedenle tavan tabakalarının arına çok yakın bir bölgede desteklenmesi oldukça önemlidir. Pasif tahkimat türlerinden olan çelik tahkimatlar arına desteği ancak tavan tabakalarının belli bir oranda sarkması ve tavan boyunduruğuna yüklenmesi sonucunda vermektedir. Sonuçta tavan tabakalarının ayrılması ve tavan tabakalarındaki kaya yükünün artmasına neden olacaktır. Ayrılmanın önüne geçebilmek için özellikle zayıf ve tabakalı ortamlarda kaya saplama gibi önlemlerin alınarak tavandaki kiriş sisteminin güçlendirilmesi veya alttaki zayıf katmanların bu saplamlarla askıya alınması ile mümkündür. Bu uygulamanın geciktirilmesi (arının yaklaşık 2-2.5 galeri genişliği gerisinde gerçekleştirilmesi) sağlam bir kiriş oluşturmayı engelleyecek ve kaya

saplamalarının etkinliğinin zayıflamasına veya işlevsiz kalmasına neden olacaktır. Bu tür ortamlarda kaya saplama tahkimatı arına yakın ve geciktirilmeden uygulanmalıdır. Bu aynı zamanda tavan yüklerinin boyunduruk ve yan direkler üzerine homojen bir şekilde dağılmasını sağlayacaktır.



Şekil 2. Galeri plan görünüşü üzerindeki kiriş ve plaka yükleme alanları (Goodman, 1980).

Tavanda su basıncı veya geliri olduğu durumlarda, saplama için açılan deliklerden suyun tahliyesi hızlanacaktır. Bu ilave su basıncı olumsuzluğunu giderecek, ancak tavan tabakalarının birbirlerinden ayrılması durumunu da oluşturabilecektir. Çok sayıda ve düşük kalınlıklardaki bu katmanların birbirlerine vakit geçirmeden bağlanarak tek bir kalın kiriş gibi davranmaları tavan duraylılığı açısından önemlidir.

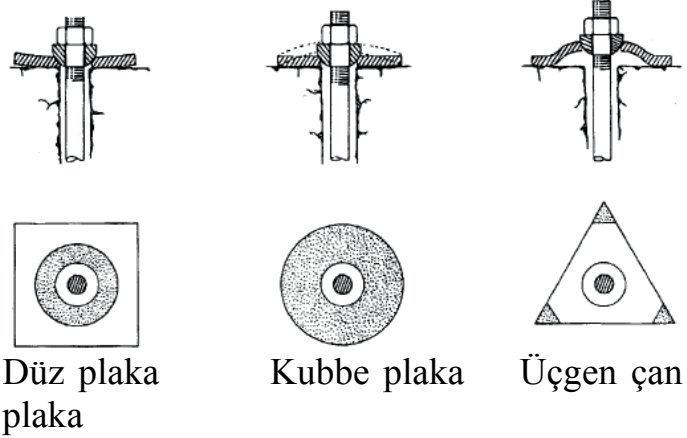
Saplama tahkimatı ile oluşturulacak veya askıya alınacak tavan kirişi, saplama boyu ile doğru orantılı olacağından, uygun saplama uzunluklarının seçilmesi etkin bir tahkimat için önemlidir. Açıklık yüksekliği ve genişliği ile tavan koşullarının (katmanların kalınlıkları, sayısı, sağlamlığı vb.) durumu uygulanacak saplama boyunun seçimi açısından önemlidir.

Sonuç olarak saplama tahkimatı ile desteklenecek galerilerde saplamlar arına mümkün olduğunca yakın ve geciktirilmeden uygulanmalıdır.

Arazi koşulları geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Bu durumda duyarsızlık problemlerinin genel arazi koşullarına bağlı olarak farklı olması beklenebilir. Deneyimler, kaya saplamlarının etkili olmaları için yüzey tahkimat elemanlarıyla birlikte kullanılması gerektiğini göstermiştir.

Yüzey tahkimat elemanları olarak saplama plakaları, çelik hasır ve püskürtme beton sayılabilir.

Kaya saplamları genellikle saplama sonunda somut ve rondela yardımıyla monte edilen bir plaka ile kullanılırlar. Saplama plakaları kayaya tepki göstererek saplamanın gerdirilmesini sağlar. Bu plakalar ayrıca çelik hasırın ve yerinde tutulmasını sağlar. Bazı yaygın olarak kullanılan saplama plakası çeşitleri Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3. Çeşitli tipte saplama plakaları (US Army Corps of Engineers, 1997).

Düz saplama plakası kaya yüzeyi düzgün ve saplama yüzeye dik olarak uygulanacağı zaman kullanılabilir.

Yeraltında çalışılan kaya kütlesi yoğun olarak eklem ve/veya eklem atkımı içeriyorsa, küçük kaya blokları ve parçalarının sökülmesi veya dökülmesine önlem olarak kaya saplamlarının plakaları ardına çelik hasır döşenir. Kaya saplamları ile birlikte yaygın olarak kullanılan iki tip çelik hasır vardır. Bunlar, örgülü çelik hasır ve kaynaklı çelik hasır tipleridir. Örgülü çelik hasır tipi esnek ve sağlamdır. Küçük kaya parçalarının düşmesi sonucu işçilerin yaralanması ve ekipmanların hasar görmesini önlemek için doğrudan kaya yüzeyine yerleştirilir. Hasır, kaya yüzeyine 1-1.5m genişlikte rulolar halinde yerleştirilir. Ayrıca örgülü çelik hasır destek noktalarına bağlı olarak kırılğan kayacın yükünün büyük bir kısmını taşıyabilmektedir.

Örgülü çelik hasır çok kuvvetli ve esnek bir yapıya sahip olmasına rağmen püskürtme betonu hasır içerisine nüfuz ettirmek zor

olduğu için püskürtme beton kullanımı için uygun değildir. Püskürtme beton tahkimatı için kaynaklı çelik hasır kullanımı, örgülü tipe göre daha uyumludur. Titreşim daha az ve tellerin kesişmesi daha az yer kapladığı için hasır ardında cepler oluşmaz Genellikle kaynaklı çelik hasır ikinci bir rondela ile kaya yüzeyine tutturulmaktadır.

### 3.2 Galerilerde Kaya Saplama ile Tahkimat Tasarımı

Bu bölümde galeri tahkimatında kullanılacak mekanik ve dolgu ankrajlı (reçineli veya çimentolu) kaya saplama tasarımını için Ünal (1983) tarafından geliştirilmiş olan bir yöntem kısaca özetlenecektir. Bu yöntem görgül taraşım yaklaşımlarını kullanmakta olup, kaya kütlesinin RMR değerinden faydalanarak kaya kütlesi yüklerini bulmakta ve yeraltı gözlemlerinin istatistiksel değerlendirilmesi sonucu elde edilen eşitliklerden faydalanılarak tahkimat analizleri yapılmaktadır.

Bu yöntemle göre, kaya saplama ile tahkimat tasarımı yapılırken aşağıda verilen eşitliklerden yararlanılır (Ünal, 1986);

#### Mekanik kaya saplama için;

$$\text{Kaya yükü yüksekliği } (h_t) = \left( \frac{100 - RMR}{100} \right) \times B \quad (1)$$

$$\text{Saplama boyu } (L_b) = 0.65 \times h_t \quad (2)$$

$$\text{Saplama kapasitesi } (C_b) = L_f \text{ ya da } L_y \text{ (küçük olan)} \quad (3)$$

$$\text{Saplama aralığı } (S_b) = \sqrt{\frac{C_b}{1,5 \times \gamma \times h_t}} \quad (4)$$

#### Dolgu ankrajlı saplama için;

$$\text{Kaya yükü yüksekliği } (h_t) = \text{Eşitlik (1)}$$

$$\text{Dolgu uzunluğu } (L_r) = \sqrt{\frac{\gamma \times B^2 \times h_t}{2 \times P_h}} \quad (5)$$

$$\text{Saplama uzunluğu } (L_b) = L_r \quad (6)$$

$$\text{Ankraj yenilme yükü } (L_f) = \frac{L_r}{BF} \quad (7)$$

Burada;

B: Galeri genişliği (m)

BF: Reçine bağ faktörü (cm/ton) (çizelgeden okunur)

L<sub>y</sub>: Saplama çeliğinin yenilme yükü (ton)

RMR: Kaya Kütlesi Kalitesi Belirteci

γ: Birim hacim ağırlığı (kN/m<sup>3</sup>)

P<sub>h</sub>: Yatay birincil gerilmesi (MPa)

Bu yöntem hakkında ayrıntılı bilgi Ünal (1983), Ünal (1986) ve Ünal ve Özkan (1998)'den elde edilebilir. Bu çalışmada burada verilen eşitliklerden yararlanılarak kaya saplama tasarımı yapılmıştır.

### 4 ÇELİK GALERİ TAHKİMATI

TTK Üzülmez Müessesesi Asma-Dilaver işletmesinde taban yolları TH geçme çelik bağ kullanılarak tahkim edilmektedir. Kaya saplama ve püskürtme beton gibi tahkimat sistemleri genelde, galeri ve/veya tünel arınında, geçici/kalıcı tahkimat olarak uygulamak için çok uygundur. Bununla birlikte, yeraltında karşılaşılan ağır tavan koşullarında (tabanyolları vb.) daha güvenli bir tahkimat sisteminin mümkün olan en çabuk şekilde uygulanması gerekmektedir. Bu tip kalıcı tahkimat sistemlerinde ahşap veya çelik kullanılmaktadır. Kaya saplama ile birlikte çelik bağ uygulamaları da bu şartlarda uygulanan yöntemlerdendir.

19. yüzyılın ortalarında yeraltı tahkimat malzemesi olarak çelik kullanılmaya başlanırken 20. yüzyılın başlarında tahkimata uygun özel profiller üretilmiştir. 1924 yılında eklemli "moll" bağları uygulanmaya başlanmış ve 1931 yılında trapez bağlardan kemerli (kavisli) bağlara geçiş yaşanmıştır. TH geçme bağ profili ise 1932 yılında yeraltı kömür madenciliğinde kullanılmaya başlanmıştır (Podjadtke et al., 2008).

İlk defa Heinrich Toussaint ve Egmont Heintzmann tarafından Almanya Bochumer Eisenhütte'de tasarlanan TH geçme bağlar özellikle zor madencilik koşullarına uyum sağlaması nedeniyle madencilik endüstrisindeki yeraltı açıklıklarının desteklenmesinde yurt dışında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk üretimler güç arazi koşullarında (yüksek basınç ve deformasyonlar) denenmiş ve bu uygulamalardan elde edilen tecrübelerle 1948 ve daha sonra da 1958 yılında dayanım özelliklerinin ve çalışma performanslarının geliştirilmesi amacıyla tekrar tasarımı yapılmıştır. 1970 yılında, "TH 58" modeli üzerinde yapılan değişikliklere,

daha ağır parçaların birbiri üzerinde kayabilme kabiliyetlerinin artırıldığı son tasarımla, TH bağların çalışma kabiliyetleri oldukça geliştirilmiştir.

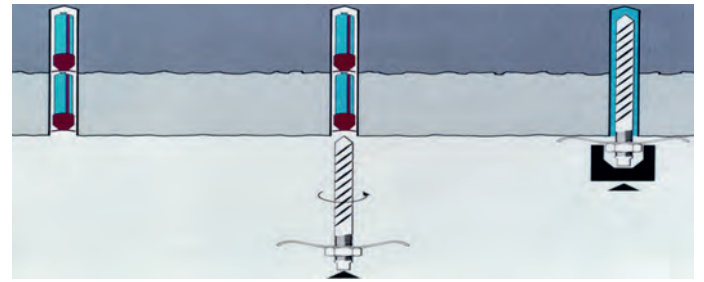
Kurulma ve sökülme kolaylıkları, bağlantı yerlerinde üstün sağlamlık, aşırı yüklenme ve ani bozulma olmaksızın arına oldukça yakın kurulabilmeleri (özellikle gevşek arazi şartları için olumlu bir durum), açılan boşluğa göre ayarlanarak yan cidarlara maksimum temas sağlanmasının mümkün olması, iç içe geçtikçe (kaydikça) dayanımlarının artması, galeri kesitinde düzgün daralma sergilemeleri bu bağların diğer avantajlı yönlerindedir. Geçme bağlar kömür madenciliğindeki ağır çalışma şartlarının yanı sıra diğer yeraltı madenlerinde, tünellerde, hidroelektrik santralleri için açılan açıklıklarda vb. yerlerde başarıyla uygulanmaktadır.

## 5 ARAZİ UYGULAMALARI

Reçine kartuşları tünel açma, yeraltı mühendislik ve kömür madenciliği işlerinde çelik saplamaların ankraj edilmesi için kullanılır. TTK'da kullanılan reçineler, yapıştırma harcı üretici firma tarafından iki bileşenli kartuşlar halinde tedarik edilmektedir. Harç karışımı sondaj deliğine uygun bir şekilde yayıldığında, taşıyıcı kiris ile sondaj deliği çeperleri arasında güçlü bir taşıyıcı bağ oluşur.

Reçine kartuşları reçine harcı ve sertleştiriciden oluşur. Reçine harcı ise doymamış polyester reçine ve dolgu maddeleri içermektedir. Bu iki bileşen kolay kırılabilir plastik bir kılıf içerisinde fiziksel bir bariyerle ayrılmış iki ayrı bölmede yan yana bulunurlar. Özel bir tespit elemanı reçine kartuşunun delikten kaymasını önler. Kartuş seçimi saplamanın ve deliğin çapına bağlıdır. Folyonun kırılarak reçine ve sertleştiricinin birbirine karışması için 3 mm'lik yuvarlak bir açıklık yeterlidir. Deliğin açılmasından sonra, reçine kartuşları deliğin içine yerleştirilir. Sonra saplama itme ve döndürme yöntemiyle reçinenin içine sokulur. Böylece kartuşlar kırılarak iki bileşen birbirine karışır (Şek. 4). Deliğin sonuna ulaşıldıktan sonra, reçine sertleşmeye

başlarken ankraj tespit mekanizmasının hareketsiz kalması gerekmektedir. Priz alma süresi kartuş ve kaya sıcaklığının yanı sıra saplamanın sürülmesinden dolayı ortaya çıkan enerji indüksiyonuna da bağlıdır. Sistem hızlı priz alarak kısa sürede yük taşı hale gelir. Kullanılan kartuşların teknik özellikleri Çizelge 1'de sunulmaktadır. Farklı uzunluk, çap ve priz alma süresine sahip kartuşlar mevcut olup, reçine kartuşları hakkında sorumlu maden dairelerinden alınmış onaylar ve yeraltı suyu ile uyumluluğuna ilişkin testler mevcuttur (Minova, 2016).

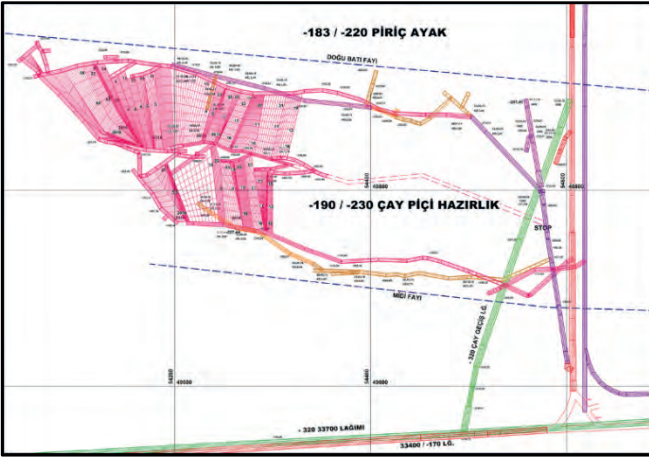


Şekil 4. Reçine kartuşlarının delik içerisine yerleştirilmesi.

Çizelge 1. Kullanılan reçine kartuşlarının teknik özellikleri.

Donma süresi (25°C)	2.5-4.5 dk.
Yükleme kapasitesi	Hemen
24 saat içinde basınç mukavemeti	> 70 MPa
Elastisite modülü 24 saat sonra	> 15 GPa
Kartuşun ortalama yoğunluğu	2000 kg/m <sup>3</sup>

TTK Üzülmez Müessesesi Asma-Dilaver işletmesinde taban yolları 1 m aralıklarla TH çelik bağ şeklinde tahkim edilmektedir. Kaya saplamanın uygulanacağı B10 kesitli -230/-320 band desandrede, gerekli olan gözlemler ve araştırmalar yapılarak bölgenin kaya kütlesi kalitesi belirteci (RMR) değerini hesaplamaya yönelik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kaya mekaniği laboratuvar deneylerinin yapılması için bölgeden örnekler alınmıştır. Şekil 5'te kaya saplaması tahkimatının deneneceği -230/-320 band desandrenin konumu gösterilmektedir.



Şekil 5. Kaya saplaması tahkimatının deneneceği bölge.

Deneylerin yapılması için yeryüzüne çıkarılıp laboratuvar ortamına getirilen örneklerden alınan karot örnekleri üzerinde kaya mekaniği deneyleri yapılarak tavan tabasının mekanik ve elastik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen bu verilerle ortaya çıkan genel tasarım değerleri Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. -230/-320 band desandre için genel tasarım parametreleri

Genel Tasarım Parametreleri	Ortalama Değer
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	55.4
RMR	59
Açıklık genişliği (m)	4.065
Yüzeyden derinlik (m)	300
Birim hacim ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	26.4
Yalancı tavan tipi	Konglomera

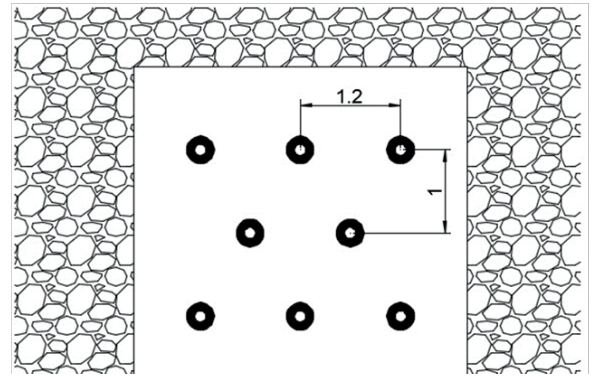
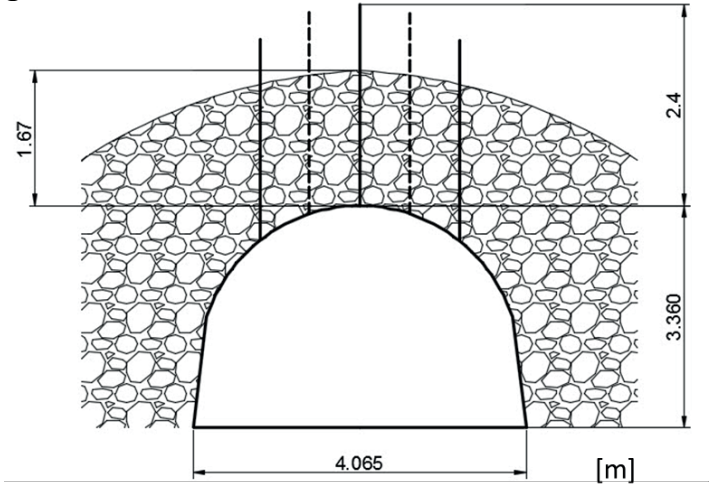
Hesaplamalarda yatay birincil gerilmenin düşey birincil gerilmeye oranı (Ph/Pv) bir ölçüm değeri olmadığı için 1/3 olarak seçilmiştir. Çizelge 3’de ise daha önce bölüm 3.2’de anlatılan galerilerde kaya saplamaları ile tahkimat tasarımı yöntemine göre hesaplanan tasarım parametreleri sunulmaktadır.

Çizelge 3. Reçineli kaya saplaması için hesaplanan tasarım parametreleri.

Tasarım Parametreleri	Değer
Kaya yükü yüksekliği (m)	1.67
Reçine uzunluğu (m)	0.4 (en az)

Saplama Uzunluğu (m)	0.8 (en az)
Ankraj Yenilme Yüğü (ton)	95.5
Saplama aralığı (m)	1.2
Saplama çeliği	G60
Saplama çapı (mm)	25
Saplama düzeni	Şeşbeş

Daha önceden de bahsedildiği gibi reçineli kaya saplamalarının kullanılması düşünüldüğü -230/-320 band desandre aşırı kırıklı formasyonların geçilmektedir. Burada amaç bahsi geçen bu desandre ve desandre içerisindeki kavşak noktalarının duraylılığını artırmak olduğundan kaya saplamaları TH çelik bağlar ile birlikte kullanılmaktadırlar. Kaya saplamaları tek başına tahkimat elemanı olarak düşülmemektedir. Bu nedenle, çizelge 3’de elde edilen değerler göz önünde bulundurularak tavan tabakalarının sağlaştırılmasına yönelik bir tasarım yapılmıştır. Şekil 6’da saplama tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 6. Kullanılması planlanan saplama tasarımı.

TTK Üzülmöz Müessesesi Asma-Dilaver işletmesinde reçine dolgulu kaya



saplamalarına yardımcı tahkimat elemanı olarak örgülü tip çelik hasır kullanılmaktadır. Püskürtme betonu kullanılması düşülmediğinden, çok kuvvetli ve esnek bir yapıya sahip olmasına nedeniyle bu tip çelik hasır kullanımı uygun gözükmemektedir. Saplama plakası olarak ise düz tipte sapama plakaları kullanılmaktadır. Bu plakalar TTK bünyesinde yapılmaktadır.

Saplamalar tavana kurulurken öncelikle 2.4 m'lik burgular ile tavana delikler açılmaktadır. Tavanda saplama deliği açıldıktan sonra 2 adet reçine kartuşu delik içerisine yerleştirilmekte ve saplama çubuğu Şekil 7'de TTK bünyesinde yapılan bir aparat ile yine delici makine yardımıyla açılan deliğe yerleştirilmektedir (Şek. 7).

Bu noktada bahsedilmesi gereken önemli bir husus, saplamaların açılan deliklere reçine tamamen donmadan önce yerleştirilmeleri gerekliliğidir. İlk denemelerde bu sorunla karşılaşmış ve bazı başarısız denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu duruma bazı örnekler Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. İlk denemeler ve bazı başarısız uygulamalar.

Daha sonraki uygulamalarda teknik personelin de adaptasyonu ile bu gibi sorunlar aşılmış ve saplamalar gerektiği gibi tamamen delik içerisine yerleştirilmiştir. Şekil 9'da saplama çubuğunun delik içerisine yerleştirilmesi ve saplama plakasının yerleştirilmesi ile başarı ile tamamlanmış bir uygulama gösterilmektedir.



Şekil 7. Saplama çubuklarının delik içerisine yerleştirilmesi.



Şekil 9. Başarılı bir saplama uygulaması.

Ocakta gerçekleştirilen ölçümler sonucunda saplama kullanılacak deliklerin delinme süresinin yaklaşık 10 dk. olduğu kaydedilmiştir. Reçine kartuşlarının delinen delik içerisine konulup saplama çubuklarının döndürülerek yerleştirilmesi ise 15 dk. sürmektedir. Başka bir deyişle bir saplamanın toplam kurulma zaman 25 dk. civarında olmaktadır. Hiç şüphesiz bu süre görevli teknik personelin tecrübe

kazanmasıyla daha da düşecektir. Bu bağlamda, Şekil 6'da gösterilen saplama düzeni için, bir bağlık bölgede (1 m) ortalama saplama kurulma zamanı yaklaşık 1 saat sürmektedir ( $\approx 5 \times 25 / 2 = 62.5$  dk).

## 7 SONUÇLAR

Türkiye Taşkömür Kurumu (TTK) Üzülme Müessesesi'nde sürülmekte olan -230/-320 band desandrede aşırı kırıklı formasyonlar geçilmektedir. Bu nedenle bahsi geçen bu desandre ve desandre içerisindeki kavşak noktalarının duraylılıklarını artırmak amacıyla TTK ocaklarında ilk defa kullanılacak olan reçineli kaya saplamaları ek tahkimat elemanı olarak kullanılmıştır.

TTK'da kullanılan reçineler, yapıştırma harcı üretici firma tarafından iki bileşenli kartuşlar halinde tedarik edilmektedir. Püskürtme beton uygulanmadığı için kaya saplamalarına yardımcı tahkimat elemanı olarak örgülü tip çelik hasır kullanılmaktadır. Saplama plakası olarak ise TTK bünyesinde yapılan düz tipte sapama plakaları kullanılmaktadır. Saplamalar, yine TTK bünyesinde yapılan bir aparat ile delici makine yardımıyla açılan deliğe yerleştirilmektedir.

Bu çalışmada kapsamında öncelikle kaya saplamasının uygulanacağı B10 kesitli -230/-320 band desandrede, gerekli olan gözlemler ve araştırmalar yapılarak bölgenin kaya kütlesi kalitesi belirteci (RMR) değeri hesaplanmış ve kaya saplaması tasarımı yapılmıştır.

Daha sonra ise, belirlenen tasarıma göre yeraltında saplama uygulaması yapılmıştır. Uygulamanın ilk aşamalarında bazı sorunlar çıkmış olsa da teknik personelin adaptasyonu ile başlangıç aşamasındaki bu sorunlar aşılmış ve saplamalar başarılı bir şekilde uygulanmaya başlanmıştır. Ayrıca yapılan ölçümler sonucunda tasarlanan saplama düzeni için, bir bağlık bölgede ortalama saplama kurulma zamanının 1 saat sürdüğü saptanmıştır.

Çalışma ekibi tarafından yapılan gözlemler ve yerinde değerlendirmeler sonucunda, uygulanan bu ek tahkimatın

duraylılık açısından yarar sağladıkları görülmüştür.

Bu çalışmada duraylılık açısından sonuçlarında sadece gözlemlere dayalı olarak değerlendirildiği unutulmamalıdır. Saplamalarının asıl faydasının zamana bağlı olarak görüleceği ve gerekli ölçümlerin yapılması önerilmektedir. Çalışmanın asıl amacı saplama tahkimatının teknik açıdan uygulanabilirliğinin incelenmesidir. Bu bağlamda, kaya saplama tahkimatının çok fazla bir zaman almadan ve mevcut iş akşını etkilemeden başarılı bir şekilde uygulanabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, kurumun diğer işyerlerinde de reçineli kaya saplamalarının rahatlıkla kullanılabileceği de söylenebilir.

## 8 KAYNAKLAR

- Franklin, J. A. and Dusseault, M. B., 1989. *Rock Engineering*, McGraw Hill Inc., 600 p.
- Goodman, R. E., 1980. *Introduction to rock mechanics*. New York: Wiley.
- Hoek, E, 2007. Chapter 17: Blasting damage in rock, *Practical Rock Engineering*, 11 pp. [http://www.roscience.com/hoek/PracticalRock Engineering.asp](http://www.roscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp)
- Minova, 2016. <http://minova.web.tr/>
- Peng, S., 1984. *Coal Mine Ground Control*, John Wiley & Sons, Inc., 450 p.
- Podjadtke, R., Witthaus, H. and Bartel, R., 2008. Development in steel roadway support – a success story, *Glückauf*, 7/8, Bochumer Eisenhütte Heintzmann, Ernst & Sohn.
- Stillborg, B., 1994. *Professional Users Handbook for Rock Bolting*, Trans. Tech. Publications, 154 p.
- US Army Corps of Engineers, 1997. Section 5-4. Initial Ground Support, Engineering and Design, *Tunnels and Shafts in Rock*, EM 1110-2-2901.
- Ünal, E., 1983. Development of Design Guidelines and Roof-Control Standards for Coal Mine Roofs, Doktora Tezi, Penn. State University, USA, 355 s.
- Ünal, E., 1986. Galerilerde kaya saplama ile tahkimat tasarımı, Türkiye 5. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 5-9 Mayıs, s. 241-258.
- Ünal, E. ve Özkan, İ., 1998. Kaya Saplama ve Demir Bağların Uzun Ayak Taban Yolundaki Davranışı ve Performans Analizleri, Türkiye 11.

Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 10-12 Haziran, s. 101-110.

## Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesindeki katkılarından dolayı; TTK Üzülmüş Müessesesi'ne, Asma Dilaver İşletme Müdür V. Müjdat BİROL'a ve Üzülmüş Müessesesi çalışanlarına teşekkürü bir borç bilir.

# Yenilmiş Karotlardan Hazırlanmış Küre Örnekler üzerinde Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksinin (SDI) Belirlenmesi

## *Determination Of Slake Durability Index (SDI) On Sphere Samples Prepared From Failure Cores*

H. Ankara

*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, ESKİŞEHİR*

**ÖZET** Bu çalışmada SDI değerleri tek eksenli basma dayanımı (UCS) sonrasında yenilmiş karot örneklerinden hazırlanan küre deney örnekleri üzerinde belirlenmiştir. Paşa metodu olarak adlandırılan yeni bir örnek hazırlama yöntemi Eskişehir'deki Hazar pembe tüf ocağından alınan pembe tüf kaya bloklarından küre örnekler hazırlamak için kullanılmıştır. SDI deneyleri eş boyut ve ağırlıktaki küre örnekler üzerinde yapılmıştır. İki yenilmiş karot örneklerinden biri masif kaya örneğinden olmak üzere üç grup deney örneği hazırlanmıştır. SDI değerleri 12 çevrimlik SDI deneyine tabi tutularak üç grup için belirlenmiştir. Masif küre deney örnek grubunun indeks değeri yenilmiş karotlardan hazırlanan küre deney örnek gruplarının indeks değerlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak böyle bir çalışma SDI deneyi için tamamlayıcı ve geliştirici olabilecektir. Ayrıca paşa döküm sahalarının şev tasarım aşamasında kullanılabilir.

**Anahtar kelimeler:** *SDI deneyi; pembe tüf; küre örnek*

**ABSTRACT** In this study, SDI values have been determined on sphere samples preparing to fail core samples after subjecting uniaxial compressive strength (UCS). A new sample preparation method called Pasha Method was used to prepare sphere samples from the pink tuff blocks collected from Hazar pink tuff quarry in Eskişehir-Turkey. The SDI tests were performed on equal size and weight sphere samples: three different groups with two failure core samples and a massive rock sample were prepared. The SDI values were determined for the three different groups subjected to the SDI test for 12 cycles. The index values of the massive sphere test sample group were found to be higher than the index values of sphere test sample groups prepared from failure core. As a result, such a study can be complement and development for slake durability index test and. Besides, it could be utilized in designing spoil pile slope in dumping areas.

**Keywords:** *SDI test; pink tuff; sphere sample*

## 1 GİRİŞ

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi (SDI) deneyi Chandra (1970) ile Franklin ve Chandra (1972) tarafından önerilmiştir. Bu deney kayaçların Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksinin belirlenmesi amacıyla ISRM (2007) ve ASTM (1998) tarafından standartlaştırılmıştır. SDI deneyi özellikle şeyl, killi ve zayıf kayaçlar için önemli bir mühendislik parametresidir. Bu deneyin amacı, genellikle kil içeren kayaların ıslanma ve kuruma çevrimi ile aşınmaya ve ayrılıp suda dağılmaya karşı direncini gösteren bir

indeks değeri belirlemektir (Ulusay, v.d., 2011; TSE, 1990). Belirlenen bu indeks değeri açık ocak veya dekapaj ile ilgili stabilite problemlerinde, açık işletmelerde, yeraltı yapılarında ve kaya sınıflandırmasında kullanılan bir parametredir.

Franklin ve Chandra (1972), kayaç örneklerinin porozitesi ve geçirgenliğinin, örnek sayısının, şeklinin ve ağırlığının SDI deneyi üzerindeki etkisini araştırmak için çalışmalar yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda, her biri 40-60 g ağırlığında olan 10 adet yuvarlak deney örnek

hazırlanmasının en uygun yöntem olduğunu belirtmişlerdir. ASTM (1998) deney örnek parçaları karottan, kaya bloğundan veya sahadan alınabileceğini belirtmiştir. ISRM (2007) örnek parçaların köşeleri yuvarlatılmış ve kabaca küresel veya küresele yakın (Ulusay et. al., 2011) şekilde olmasını önermişlerdir. Deney örneklerinin yüzeyleri pürüzsüz ve kabaca eş boyutlu hazırlanması tavsiye edilmiştir (TSE, 1990). SDI deneyi kaya örneğinden hazırlanan deney örneklerinin iki çevrimli kuruma ve ıslanma durumunda bir indeks değeri belirlemek için uygulanmaktadır.

Deney örnek parçalarının şekli, köşeliliği ve yüzey özellikleri SDI deneyleri sonucunda elde edilen indeks değeri üzerinde etkili olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir (Vallejo, 1994; Agustajiwaya, 2003; Kolay v.d., 2004; Kolay ve Kayabali, 2006; Kıncal v.d., 2010; Ankara v.d., 2013a; 2013b; Ankara v.d., 2015; 2016). Bu araştırmalar sonucunda deney örneklerinin köşeli yapıda olması mekanik etkilerden dolayı daha çok dağıldığı ve indeks değerinin düşük çıkmasına sebep olduğu belirlenmiştir.

Çevrim sayısının üzerindeki etkisini araştıran çalışmalarda, Taylor (1988) kil minerali içeriği %75'ten fazla olan çamur taşları üzerinde çalışmalar yapmıştır. SDI deneyini 3 çevrim olarak uygulamıştır. Dick ve Shakoor (1992) ikinci çevrimde SDI değerinin, her bir çamur taşı litotipinin litolojik özellikleriyle ilişkili olduğunu görmüşlerdir. Moon ve Beattie (1995) düşük kararlılık indeksine sahip, kaolinit killerinin baskın olarak bulunduğu, ince taneli ve karbonatlı çamur taşları üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Deneylerde ikinci çevrim sonrası tambur içinde kalan kayaç parçalarını fark edince çevrimleri üçe çıkararak deneyleri tekrarlamışlardır. Ulusay v.d. (1995) laminalı, laminalı-masif ve bozunmuş marnlar üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada, her bir örnek için beş çevrim uygulamışlardır. Seçilen her bir bozunmuş örnek için, yapılmış SDI deneyinde, çevrim sayısının arttırılmasıyla kararlılık indeksi değerinin azaldığı görülmüştür. Bell v.d. (1997) çamur taşları üzerinde yapmış oldukları deneylerde, çamur taşlarının

duraylılığını belirlemek için en iyi çevrim sayının 3 olduğunu belirlemişlerdir. Gökçeoğlu v.d. (2000) kil içerikli dayanımsız kayaçların kısa süreli ıslanma ya da bozunma sırasında dayanımlarındaki değişimin iki çevrimli SDI indeksi deneyi ile belirlenemeyeceğini vurgulamaktadır. Gökçeoğlu ve Aksoy (2000) , kil içerikli kayaçların sınıflandırılmasında yeni bir yaklaşım geliştirmek için çalışmalar yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda, suyun kayaçlar üzerindeki etkisini belirlemek için; SDI indeksi deneyinin 2 çevrim yerine 4 çevrim olarak uygulanmasının daha uygun olduğunu belirlemişlerdir. Tonon et. al. (2009), kireçtaşları üzerinde ASTM D4644 standardına göre SDI indeksi deneyini uygulamışlardır. İkinci çevrim sonrasında kayaçların küçük parçacıklar halinde dağıldığını gözlemlemişlerdir. Walsri v.d., (2012) kumtaşları üzerinde çalışmışlardır. 10'ncü çevrim sonunda kumtaşlarının su emme değerlerinin sırasıyla %12, %3 ve %2 olduğunu görmüşlerdir. Khalily v.d. (2013), çalışmalarında numuneleri, 4 çevrim olarak SDI indeksi deneyine tabi tutmuşlardır.

Kayacın mekanik özellikleri ile SDI değeri arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalarda; Aufmuth (1974), kayacın elastisite modülü ve Schmidt çekici değerleriyle SDI indeksi değerlerini karşılaştırmıştır. Binal v.d. (1997), Volkanosedimenter kayaçlarda donma-çözülme çevrimlerinin, bu kayaçların porozite, ağırlıkça su emme, SDI deneyi, UCS ve Schmidt sertlik değerleri üzerindeki etkilerini laboratuvar koşullarında araştırmıştır. Koncagül ve Santi, (1999) tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için shore sertlik deneylerini ve SDI indeksi değerlerini kullanmışlardır. Sharma ve Singh, (2008) çalışmasında 1 adet magmatik, 3 adet sedimenter ve 3 adet magmatik kayacı aldıkları örnekleri, kayacın mekanik özelliklerini belirlemek için P-dalga hızıyla birlikte deneye tabi tutmuşlardır. P-dalga hızından, SDI indeksi ve dayanım etki indeksini tahmin edebilmek için ampirik eşitlikler geliştirmişlerdir. Ayakwah, (2009), nokta yükü dayanımı indeksi, SDI indeksi, kayacın mekanik ve kimyasal özellikleri, kayacın bozunumu,

hidrotermal alterasyon ve diğer jeoteknik parametreler arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Yalım, (2009) SDI indeksi deneyleri sonucunda masif bazaltların boşluklu bazaltlara göre daha yüksek duraylılığa sahip olduğunu göstermiştir. Yağız, (2011) yedi çeşit karbonatlı kayalar üzerinde SDI indeksi, tek eksenli basınç dayanımı, Schmidt sertliği, P-dalga hızı, elastisite modülü, etkin porozite gibi özellikleri arasındaki ilişkiyi irdelenmiştir. Kolay v.d., (2010) SDI indeksi değeri, nokta yükü dayanımı indeksi, kuru birim hacim ağırlığı ile fraktal boyut arasında en iyi ampirik ilişkiyi tanımlamaya çalışmışlardır. Swain (2010) SDI indeksi değeri, protodyakonov indeksi değeri ile Los Angeles aşınma kaybı değerlerini belirlemek için çeşitli analizler yapmıştır. SDI indeksi değerleri ile Los Angeles aşınma kaybı deneyi değerleri arasında benzerlik olduğunu gözlemlemiştir. Moradian v.d., (2010) kumtaşlarının SDI indeksi değerlerini, tek eksenli basınç dayanımı, yoğunluk ve porozite arasında oluşturmuş oldukları çoklu regresyon denklemleri ile tahmin etme yoluna gitmişlerdir. Çevik v.d., (2011) NN modellemesinde giriş parametreleri olarak, kayacın kökenini, iki/dört çevrim SDI indeksi değerini ve kil içeriğini kullanmışlar ve çıkış parametresi olarak, kayacın tek eksenli basınç dayanımını elde etmişlerdir. Bozkurtoğlu ve Mert, (2012) Kandıra taşı olarak da bilinen karbonat çimentolu kumtaşı-mikritik kireçtaşının SDI indeksi ile kayaç değişim değeri (KDD), kayaç değişim oranı, fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiyi irdelenmişlerdir. Khalily v.d., (2013), SDI indeksi deneyi sonuçları ile deneye tabi tutulan malzemenin su emme potansiyeli, nokta yükü dayanımı, kuru yoğunluğu ve kalsiyum karbonat içeriği gibi fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Açık işletme madencilik faaliyetleri önemli bir yer tutan dekapaj döküm sahasına dökülen kaya malzemesinin gevşek, sular ile temas halinde, donma-çözülme döngüsü içinde olması ve oturmalar sonrası yenilmesi sonucunda zayıflamış ve yenilmiş bir kaya kütlesi kayma ve akma eğiliminde

olmaktadır. Laboratuvar ortamında bu özellikteki kaya kütlesini modellemek için, Donma-Çözülme deneyi hariç, diğer kaya mekaniği deneyleri sonrası zayıflatılmış veya yenilmiş kaya örnekleri üzerinde SDI deneyi yapılmamıştır. Bu çalışmada yenilmiş kaya kütlelerindeki şev duraylılığını modellenmesine yardımcı olmak amacıyla UCS deneyi sonrası yenilmiş pembe tuf karot örnekleri üzerinde kuruma-ıslanma etkisini belirlemek için küre deney örnekler hazırlanarak SDI deneyleri yapılmıştır.

## 2 MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1 Malzeme

Lünel (1974), Eskişehir-Gümele çevresindeki Tersiyer volkanik ve sedimanter kayalarında çalışmış, volkanik aktivitenin kesikli ve kısıtlı olarak devam ettiğini, Pliyosen yaşlı bazik-ortaç volkanik kayaların, gösel fasiyeste, sedimanter ve piroklastik kayaların erozyonunu takiben meydana geldiğini belirlemiştir. Yazılıkaya tüfleri üzerinde yapılan çalışmada ise (Binal vd, 1997) alt seviyenin resedimente tüften, üst seviyelerin ise farklı kaynaşma derecelerine sahip ignimbiritlerden oluştuğu belirtilmektedir. Pembe ignimbiritlerde diğer ignimbiritlere göre kil mineral içeriğinin fazla olduğu tespiti yapılmıştır. Bu çalışmadaki deneylerde kullanılan Pembe Tuf kaya blok örnekleri Gümele Hazar taş kesme ocağından alınmıştır. Pembe tuf kaya örneklerinin XRD-analizleri sonucunda mineral içeriği kuvars ve kristobalit ile birlikte feldspat, kil ve mika grubundan oluştuğu belirlenmiştir. Gümele pembe tuf örneği üzerinde yapılan XRF analiz sonucuna göre; % 69,35 SiO<sub>2</sub>, % 13,52 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 5,28 K<sub>2</sub>O, % 2,35 Na<sub>2</sub>O, % 1,51 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 1,32 CaO, % 0,15 TiO<sub>2</sub> içermektedir. Ateş kaybı ise % 5,5'dir. Pembe tufün fiziko-mekanik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Pembe tufün bazı fiziko-mekanik özellikleri.

Özellikler	Ayday ve Göktaş (1990)	Binal v.d. (1997)	Topal ve Sözmen (2003)	Kaygusuz (2014)
Birim ağırlığı (kN/m <sup>3</sup> )	15,80	-	14.49	-
Porozite (%)	24,20	29,10	33.48	-
UCS (MPa)	18,23	25,50	16.95	13,18
SDI-Id <sub>2</sub> (%)	96,8	95,50	96,00	98,55

## 2.2 Küre deney örneklerinin hazırlanması

Yenilmiş karotlardan pürüzsüz yüzeyli, eş boyutlu ve kütleli küre deney örneklerinin hazırlanması üç aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada yenilmiş karotlardan çapı ve boyu eşit silindirik parçalar kesilmiştir. İkinci aşama: silindirik parçaların ön/kaba küre kesim aşamasıdır. Üçüncü aşama ön kürelerden eş boyutlu kürelerin yapım aşamasıdır.

Silindirik parçaların dairesel kenarları V-Kanal kalıbı yardımıyla 45° açı ile 90° çevrilerek diagonal yüzeyler silindir çapına eşit olacak şekilde kesilir. Bu kesimden sonra oluşan 8 köşe 15° açı ile 90° çevrilerek kesilmelidir. Bu kesim işlemi sonucunda elde edilen geometrik şekil ön/kaba küre kesimdir. Daha sonra küre yapma makinesinde deney örnekleri eş boyutlu ve ağırlıklı olacak şekilde küre haline getirilir, Resim 1.



Resim 1. Küre yapım aşamaları

## 2.3 Deneysel çalışmalar

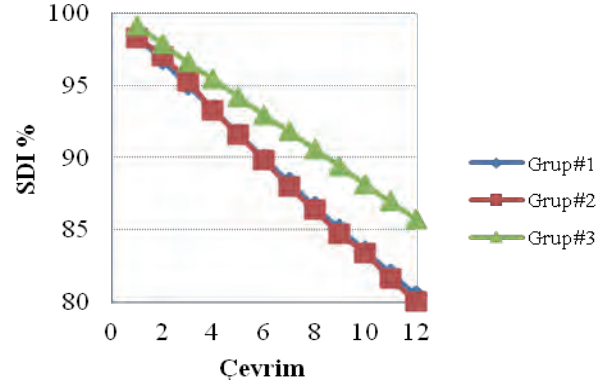
Tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) deneyi ISRM standardına göre 10 adet NX çaplı karot üzerinde uygulanmıştır. En düşük ve en yüksek UCS değerleri sırasıyla 10,88 ve 15,46 MPa olarak bulunmuştur. Ortalama UCS değeri 13,18 MPa olarak hesaplanmıştır (Kaygusuz, 2014). Yenilmiş karotların alt ve üst kısımlarından çap ve boyu eşit olacak şekilde silindirik örnekler kesilmiş ve SDI deneyi için iki grup (Grup#1 ve Grup#2) olacak şekilde 20 adet küre deney örneği hazırlanmıştır. Üçüncü grup (Grup#3) olarak masif pembe tuf kaya bloğundan 10 adet küre deney örneği hazırlanmıştır. Standartlarda 2 çevrimlik SDI deneyi önerilmesine rağmen gruptaki indeks değişimini daha iyi belirleyebilmek için küre deney örnek grupları 12 çevrimlik SDI deneyine tabi tutulmuştur (Çizelge 2). İkinci çevrim sonrası Id<sub>2</sub> değerine göre bütün grupların dağılma dayanım sınıflaması yüksek bulunmuştur. Dördüncü çevrim sonrası yenilmiş tuf örnek gruplarının Id<sub>4</sub> değerine göre dağılma dayanım sınıflaması orta yüksek olmasına rağmen masif örnek grubunun yüksek olarak belirlenmiştir. Id<sub>12</sub> değerleri yenilmiş örnek gruplarında dağılma dayanım sınıflaması orta ve masif örnek grubunda orta yüksek olarak sınıflandırılmıştır.



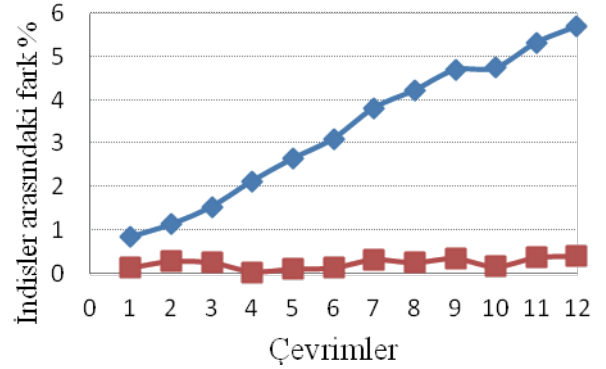
Çizelge 2. SDI deney sonuçları.

Çevrim	Grup#1	Grup#2	Grup#3
1	98,42	98,30	99,14
2	96,78	97,06	97,91
3	95,06	95,31	96,6
4	93,35	93,32	95,45
5	91,67	91,58	94,23
6	89,97	89,85	92,96
7	88,33	88,01	91,83
8	86,63	86,38	90,61
9	85,09	84,74	89,44
10	83,55	83,40	88,15
11	82,01	81,64	86,97
12	80,48	80,07	85,78

Tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) kaya kütlesi sınıflandırmalarında ve yeraltı yapılarının tasarımında temel bir parametre olarak kullanılmaktadır. UCS gerilme değeri kayaların mekanik özelliklerini belirlemesine rağmen kimi zamanda bozunmaya veya zayıflamaya uğramış kayaların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. SDI deneyi kaya malzemesinin kurumaya ve ıslanmaya bırakılması durumunda, parçalanmaya ve zayıflamaya karşı kayaların duraylılığını belirleyen bir indeks deneyidir. Özellikle dekapaj döküm veya dolgu sahalarında kaya malzemesinin yenilme ve sonrasında kuruma-ıslanma döngüsü arasındaki ilişki pembe tuf örnekleri üzerinde incelenmiştir. Ayrıca, SDI deneyi sırasında oluşabilecek mekanik etkilerden dolayı kırılmaları engellemek için deneylerde eş boyutlu küre şekilli deney örnekleri kullanılmıştır. Masif ve yenilmiş küre pembe tuf örneklerinin SDI değerleri arasındaki fark ilk çevrimden itibaren artarak devam etmiştir (Şekil 1-2). Kuruma-ıslanma neticesinde yenilmiş kayalarda masif kayalara göre parçalanma ve zayıflama daha hızlı geliştiği bu deneyde görülmüştür. UCS deney sonrası yenilmiş karot örneklerinden hazırlanan küre pembe tuf örneklerinin SDI değerleri arasındaki fark sabit kalmıştır (Şekil 2). SDI değerler arasındaki farkın sabit kalması deney sırasında mekanik etkilerden dolayı oluşan kırılmaların engellenmiş olduğu da görülmektedir.



Şekil 1. Örnek gruplarının SDI değerleri



Şekil 2. İndisler arasındaki farklar

### 3 SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Zayıf kayaların parçalanma ve dağılmasını belirlemek için kullanılan suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinin (SDI) sonuçlarını etkileyen birçok etmen vardır. Bu etmenlerden birisi de deneyde kullanılan deney örneklerinin yüzey pürüzlülüğü ve geometrik şeklidir. ASTM, ISRM ve TSE tarafından deneyde kullanılan deney örneklerinin eş boyutlu küresel örnekler olması önerilmesine rağmen uygulamada olan örnek hazırlama teknikleri ile bu geometrik şeklin oluşturulması oldukça zordur. Küre deney örneklerinde yapılan SDI deneylerinde Grup#1 ve Grup#2’de görüldüğü gibi çoklu çevrimlerde bile indeks değerleri arasında büyük farklar olmamaktadır. Çevrimlerde oluşan en büyük indeks fark %0,41’dir. Ancak, önceki çalışmalarda deney örneklerinin yüzey şekli ve pürüzlülüğü neticesinde Id<sub>2</sub> indeks değerleri arasında % 3 ile % 25’lik farklar oluştuğu belirlenmiştir (Kolay v.d., 2004; Kolay ve Kayabali, (2006). Bu durum deney



örneklerinin tambur içinde ıslanma durumunda mekanik etkilerden dolayı kırılmaların oluşmadığını göstermektedir.

UCS deneyleri neticesinde yenilmiş karot parçalarının içyapısında oluşan mikro çatlakların ve dağılmaların ıslanma-kuruma çevrimlerinde ne kadar etkili olduğunu belirlemek için SDI deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada görüldüğü gibi yenilmiş kayalardaki SDI değerleri masif kayaların SDI değerlerine göre daha düşük çıkmakta ve çevrim sayısı arttıkça da indeksler arasındaki farklarda artışlar görülmektedir (Şekil 2). Yani ilk iki çevrim sonunda dağılma dayanım sınıflandırması bütün gruplarda aynı olmasına rağmen dördüncü ve on ikinci çevrim sonrası dağılma dayanım sınıflarının değiştiği belirlenmiştir. Yerindeki kaya yapısının kazılması ve kazılmış kayaların döküm sahasında korunması veya dolgu malzemesi olarak kullanılması durumunda yeraltı veya yüzey sularının etkisi sonucu ıslanma sonrasında kuruma döngüsü içinde kalacağından dolayı bu tür yapıların tasarımı sırasında yenilmiş kayaların SDI değerlerinin kullanılması daha uygun olacaktır. Ayrıca, uygulama sahasındaki kuruma-ıslanma döngüsünün sayısının yıllık olarak bilinmesi SDI deneylerinde çevrim sayısını belirlemek için kullanılması da faydalı olacaktır.

Sonuç olarak standart SDI deneyleri sırasında deney örneklerinin yüzey pürüzlülüğü ve geometrik şekilden dolayı oluşan mekanik kırılmalarının önüne geçmek için küre deney örneklerinin kullanılması ideal indeks değerlerinin belirlenmesinde faydalı olacaktır. Kayaç malzemesinin kazısı, taşınması ve dökümü faaliyeti sonrasında yenilmiş kaya malzemesinin koruma sahasındaki dağılma dayanım özelliği UCS sonrası SDI deneyi ile belirlenebilir. Bunun için çoklu çevrimli SDI deneyleri yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

Agustajiwaya, D. S., 2003. Modelled mechanisms in the slake-durability test for soft rocks. *Dimensi Teknik Sipil*, 5(2), pp. 87 – 92.  
Ankara, H., Aksoy, M. ve Yerel, S., 2013a. Suda dağılmaya karşı duraylılık testi için kayalardan

eş boyutlu küresel örneklerin hazırlanması, Bilimsel Araştırma Projesi BAP 201015013, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.

- Ankara, H., Aksoy, M., Yerel, S. ve Keser Y., 2013b. The determination of slake durability index with spherical samples. *Key Engineering Materials*. 548, PP. 247-252.  
Ankara, H., Yerel Kandemir, S. and Çiçek, F., 2015. Comparison of slake durability index (sdi) values of sphere and rounded marl samples, *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium*, WMESS, pp. 93-98.  
Ankara, H., Çiçek, F., Deniz, İ. T., Uçak, E. and Yerel Kandemir, Süheyla, 2016. Determination Slake Durability Index (SDI) values on different shape of laminated marl samples, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 44, pp. 1-5.  
Aufmuth, R. E., 1974. Site engineering indexing of rocks: field testing and instrument of rocks. DOI: 10.1520/STP32145S.  
Ayakwah, G. F., 2009. Effect of weathering and alteration on point load and slake durability indices and the characterization of the debris flow at The Questa Mine, Toas Country, New Mexico, *The MSc in Mineral Engineering with Specialization in Geotechnical Engineering*, New Mexico Institute of Mining and Technology Department of Mineral Engineering, Socorro, New Mexico.  
ASTM, 1998. D4644 Standard test method for slake durability of shales and similar weak rocks. *Annual book of ASTM standards*. American Society for Testing and Materials.  
Bell, F.G., Entwisle, D.C. and Culshaw, M. G., 1997. A geotechnical-towards establishing relationships between the mineralogical survey of some British coal measures mudstones, with and physical properties of coal measures rocks *Int. J. Rock particular emphasis on durability*. *Eng. Geol.*, 46, pp. 115–129.  
Binal, A., Kasapoğlu, K. E. ve Gökçeoğlu, C., 1997. Eskişehir-Yazılıkaya çevresinde yüzeylenen volkanosedimanter kayaların donma-çözülme etkisi altında bazı fiziksel ve mekanik parametrelerin değişimi, *Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 19, s. 17-40.  
Bozkurtoğlu, E. ve Mert, E., 2012. Kandıra taşının dayanım-Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık ilişkisi, *Uygulamalı Yerbilimleri*, 1(2), s. 30-50.  
Chandra, R., 1970. Slake durability test for rocks. Unpublished M.S. thesis, Department of Mining, Imperial Collage, England.  
Çevik, A., Sezer, E., Çabalar, A. F. and Gökçeoğlu, C., 2011. Modelling of the Uniaxial Compressive Strength of some clay-bearing rocks using Neural Network, *Applied Soft Computing*, 11, pp. 2587-2594.

- Dick, J. C. and Shakoor, A., 1992. Lithological Controls of Mudrock Durability, Quarterly Journal of Engineering Geology, 25, pp. 31-46.
- Franklin, J.A. and Chandra, R., 1972. The Slake Durability Test, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 9, pp. 325-341.
- Gökçeoğlu, C. and Aksoy, H., 2000. New Approaches to The characterization of clay-bearing, densely jointed and weak rock masses, Engineering Geology, 58(1), pp. 1-23.
- Gökçeoğlu, C., Ulusay, R. and Sönmez H., 2000, Factors affecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles, Engineering Geology, 57, pp. 215-237.
- ISRM, 2007. Ulusay, R. and Hudson, J. A. (Eds.), The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring, 1974-2006, suggested methods prepared by the commission o testing methods, International Society for Rock Mechanics, Compilation Arranged by The ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, pp. 96-98.
- Kaygusuz, B. 2014. Pembe tüflerin iyileştirilmesinde kireçli pasta etkisi ve tek eksenli basınç dayanımı, Mühendislik Araştırmaları, ESOGÜ Müh. Mim. Fak. Maden Müh. Böl., Eskişehir, s. 24.
- Khalily, M., Iashkaripour, G. R., Ghafoori, M., Khanehbad, M. and Dehghan, P., 2013. Durability characterization of abderaz marl limestone in The Koper – Dagh Basin, NE of Iran, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 3(5), pp. 2250-2459.
- Kıncal, C., Koca, M. Y., Özden, G. and Demirbasa, N., 2010. Fractal parameter approach on weathering grade determination of Çeşme ( Izmir, Turkey ) Tuffs, Bull Eng. Geol. Environ. 69, pp. 617-629.
- Kolay, E., Kayabalı, K. and Beyaz, T., 2004. Kil içeren bazı kayalarda deney örneklerinin şeklinin ıslak kararlılık deneyine etkisi, KAYAMEK'2004 – VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas, Türkiye.
- Kolay, E. and Kayabalı, K., 2006. Investigation of the effect of aggregate shape and surface roughness on the slake durability index using the fractal dimension approach, Engineering Geology, 86, pp. 271-284.
- Kolay, E., Kayabalı, K. and Taşdemir, Y., 2010. Modelling the Slake Durability index using regression analysis artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy methods, Bull EngGeol Environ, 69, pp. 275–286.
- Koncağül, E. C. and Santi, P. M., 1999. Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability share hardness and rock structural properties, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36, pp. 139-153.
- Lünel, T., 1974. Eskişehir, Gümele çevresindeki Tersiyer volkanik ve sedimanter kayalarda bir ön çalışma, Türkiye Jeoloji Bülteni, 17(1), s. 31-50.
- Moon, V. G. and Beattie, A. G., 1995. Textural and microstructural influences on the durability of waikato coal measures mudrocks, Q. J. Eng. Geol. 28, pp. 303-312.
- Moradian, Z. A., Ghazvinian, A. H., Ahmadi, M. and Behnia, M., 2010. Predicting Slake Durability Index of soft sandstone using indirect tests, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 47, pp. 666-671.
- Sharma, P. K. and Singh, T. N., 2008. A correlation between P-wave velocity, Impact Strength Index, Slake Durability Index and Uniaxial Compressive Strength, Bull. Eng. Geol. Environ., 67, pp.17-32.
- Swain, C., 2010. Determination of rock strength from Slake Durability Tests, Prodtyakonov Impact Tests and Los Angeles Abrasion Resistance Tests, The Degree of Bachelor of Technology In Mining Engineering, Rourkela,
- Taylor, R. K., 1988. Coal measures mudrocks: composition, classification and weathering processes, Q. J. Eng. Geol., 21, pp. 85-99.
- Tonon, F., Youn H. J. and Raibagkar A. P., 2009. effect of verification cores on tip capacity of drilled shafts, Report No: FHWA/TX -09/0-5825-1, Center for Transportation Research The University of Texas at Austin 3208 Red River, Suite 200, Austin, TX 78705-2650.
- TSE 8543, 1990. Kayaçların şişme ve suya dayanıklılık özelliklerinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, p. 7.
- Ulusay, R., Arikan, F., Yoleri, M.F. and Çağlan, D., 1995. Engineering geological characterization of coal mine waste material and an evaluation in the context of back-analysis of spoil pile instabilities in a strip mine SW Turkey. Eng Geol 40, pp. 77–101.
- Ulusay, R., Çökçeoğlu, C. ve Binal, A., 2011. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, TMMOB Jeoloji Müh. Odası, Ankara, pp. 35-40.
- Vallejo, L. E., 1994. Fractal analysis of The Slake Durability Test, Can. Geotech. J., 31.
- Walsri, C., Sriapai, T., Phueakphum, D. and Fuenkajorn, K., 2012, Simulation of sandstone degradation using large-scale slake durability index testing device, Songlanaların J. Sci. Technol., 34, pp. 587-596.
- Yağız, S., 2011. Correlation between slake durability and rock properties for some carbonate rocks, Bull Eng Geol Environ, 70(3), pp. 377-383.
- Yalım, E., 2009. Turunçlu ( Delihalil-Osmaniye ) bölgesi'ndeki bazaltik oluşumlarının derinliğe

bağlı değişimlerinin jeomekanik özellikleri,  
Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.

# Soma Deniz Açık Kömür Ocağında 3 Boyutlu Nümerik Modelleme ile Şev Duraylılık Performansının İncelenmesi

## *Investigation of Three Dimensional Numerical Analysis and Slope Stability Performance at Open Coal Mining in Deniz-Soma, Turkey*

K. Küçük, C. Okay Aksoy, T. Onargan, H. E. Yaman, C. B. Kocaman

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir-Türkiye*

V. Özacar

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı M.Y.O., İzmir-Türkiye*

**ÖZET** Bu çalışma kapsamında derin açık ocak olarak işletilmesi düşünülen Soma-Deniz Sahasında oluşturulacak şevlerin stabilitesi 3 Boyutlu Nümerik Modelleme Yöntemiyle incelenmiştir. Bu amaçla, sahada 4 adet jeoteknik sondaj yapılmış ve bu sondajlardan elde edilen verilere dayanarak, jeolojik kütle modeli oluşturulmuştur. 200 m derinliğe kadar incek olan açık işletmede, kil bantlarının önemli zayıflık düzlemleri teşkil edeceği belirlenmiştir. Bu nedenle, gerçekleştirilen nümerik modellemelerde bu durum dikkate alınmıştır. Sonuç olarak gerçekleştirilecek olan derin açık işletme çukurunun genel şev açısının 21.5 derece olması gerektiği belirlenmiştir.

**ABSTRACT** In this study, the stability of the slopes to be formed in the Soma-Deniz Field which is considered to be operated as a deep open pit mine, was investigated by 3D Numerical Modeling Method. For this purpose, 4 geotechnical drillings were made in the area and based on the data obtained from these drillings, a geological mass model was created. It has been determined that clay bands will be the significant weakness planes in the open pit operation, which will be up to 200 m deep. For this reason, this is taken into account in numerical models. As a result, it was determined that the general slope angle of the deep open pit should be 21.5 degrees.

### 1 GİRİŞ

Ege bölgesinin kuzeyinde bulunan Soma ilçesinin doğusunda Kırkağaç, batısında Bergama, kuzeyinde Savaştepe ve İvrindi ilçeleri ile güneyinde Palamut Bucağı bulunmaktadır. İlçenin rakımı 175 m ve yüzölçümü ise yaklaşık 826 km<sup>2</sup>'dir. Akhisar-Bergama yolu ilçenin içinden geçmektedir. Soma ilçesi Manisa'ya 87 km, İzmir'e 135 km, Balıkesir'e 70 km, Bergama'ya 42 km ve Akhisar'a 40 km uzaklıktadır. Çalışmanın yapıldığı lokasyon aşağıda Şekil 1'de verilmektedir.



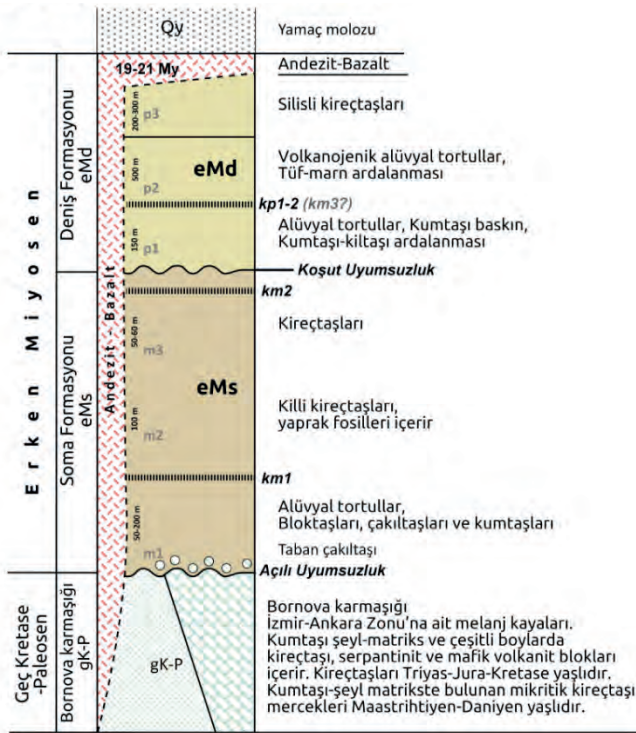
Şekil 1. Soma Yerbulduru Haritası

## 2 GENEL JEOLojİ

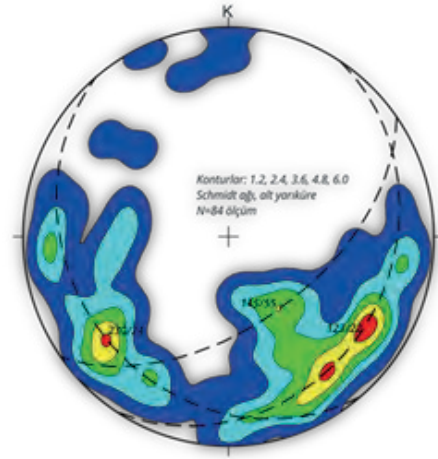
Soma çevresinde Bornova karmaşığı, Miyosen yaşlı tortul kayalar ve Yunddağ volkanitleri bulunmaktadır. Bölgede yer alan kaya birimlerinin stratigrafisi istifinin en altında geç Kretase-Paleosen yaşlı Bornova karmaşığı bulunur ve erken Miyosen yaşlı kömür damarları içeren tortul kayaların temelini Pre-Miyosen Temel oluşturur (Şekil 2).

Deniş sahasında ve çevresinde yapılan gözlemler ve ölçümler erken Miyosen yaşlı istifin bir kıvrımlı yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Bu kıvrım ekseninin yönlemi KD-GB dir ve güneybatıya dalımlıdır. Toplam 84 katman doğrultu/eğim ölçüsünün Şekil 3’de verilen eşalan diyagramı güneybatıya dalımlı bir kıvrımı açıkça göstermektedir.



Şekil 2. Soma'nın kuzeydoğusunda bulunan kaya birimlerinin stratigrafisi (Nebert, 1978; Akgün, 1993; Kaya ve diğ., 2007). Kalınlıklar ve simgeler Nebert (1978)'den alınmıştır ve yeni yayınlardaki verilere dayanarak kaya birimlerinin revize edilen yaşları sütun kesitte ve metin içinde belirtilmiştir.



Şekil 3. Deniş sahasında katman doğrultu/eğim ölçüsünün eşalen diyagramı. Katman konumlarının dağılımı kıvrımlı bir yapıyı açıkça ortaya koymaktadır. Güneybatıya eğimli kanadın konumu 230/24 tür. Güneydoğuya eğimli kanat ise iki farklı eğim açısına sahiptir: 145/55 ve 123/22 (Eğim yönü ve eğim açısı kullanılmıştır).

## 3 JEOTEKNİK ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında, jeoteknik veri tabanı oluşturmak için sahada birçok defa saha çalışması yapılmıştır. Ek olarak, çevre stabilitesi çalışmalarının gerçekleştirilmesi amacıyla sahada belirlenen lokasyonlarda 5 adet jeoteknik sondaj yapılmıştır.

Bu çalışmalardan elde edilen veriler ışığında, DENİŞ 2 sahasında karşılaşılabilecek olan kaya kütlelerine ait parametreler belirlenmiştir. Bu amaçla, öncelikle kaya kütle sınıflama sistemleri kullanılmıştır. Zemin özelliği gösteren bölümlerde ise zeminin kütleli parametrelerini ortaya koyabilmek için yerinde yapılan deneyler ile laboratuvar deneylerinden faydalanılmıştır.

### 3.1 Kaya Kütle Parametrelerinin Belirlenmesi

Kaya mühendisliğinde son tasarımı gerçekleştirmek oldukça uzun ve pahalı bir süreç gerektirmektedir. Bu sürecin başında kaya kütlelerinin tanımlanması ve karakterize edilmesi gelmektedir. Bu amaçla bazı araştırmacılar tarafından kaya kütle sınıflama sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerden bazıları, Çizelge 1’de verilmektedir (Palmström, 2000).

Çizelge 1. Bazı Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri (Palmström, 1995, Edelbro, 2006, Palmström and Stille, 2007, Aksoy, 2010).

Sınıflama Sisteminin Adı	Formu ve Tipi (*)	Ana Uygulama Alanları	Kaynak
Terzaghi Kaya Yükü Sınıflama Sistemi	Tanımlayıcı ve Kaya Davranış formu, Fonksiyonel Tip	Tünellerde çelik tahkimat dizaynı	Terzaghi, 1946
Lauffer Tahkimatsız Durabilme Süresi Sınıflama Sistemi	Tanımlayıcı Form, Genel Tip	Tünel dizayn verileri	Lauffer, 1958
Yeni Avusturya Tünelcilik Metodu (NATM)	Tanımlayıcı ve Kaya Davranış formu, Tunel Konsepti	Yüksek gerilimli zeminlerde kazı ve dizayn	Rabcewicz, Müller ve Pacher, 1958-64
Kaya Mekanik Özellikleri için Kaya Sınıflaması	Tanımlayıcı Form, Genel Tip	Kaya Mekanik verileri	Patching ve Coates, 1968
Kaya ve Zeminlerin Sınıflaması	Tanımlayıcı Form, Genel Tip	Kominikasyon için partükül ve blok tanımlamaları	Deere et al., 1969
Kaya Kalite Göstergesi (RQD)	Sayısal Form, Genel Tip	Karot loglaması ve diğer sistemlerde kullanılır	Deere et al., 1967
Boyut-Dayanım Sınıflaması	Sayısal Form, Fonksiyonel Tip	Kaya dayanımı ve blok çaplarını esas alır, genelde madencilikte	Franklin, 1975
Kaya Yapısı Derecesi (RSR)	Sayısal Form, Fonksiyonel Tip	Tünellerde çelik tahkimat dizaynında	Wickham et al., 1972
Kaya Kütle Derecesi (RMR)	Sayısal Form, Fonksiyonel Tip	Tünel ve madencilikte	Bieniawski, 1973
Q Sınıflama Sistemi	Sayısal Form, Fonksiyonel Tip	Yeraltı madenciliği kazısında tahkimat dizaynı	Barton et al., 1974
Mining RMR (MRMR)	Sayısal Form, Fonksiyonel Tip	Madenlerde kaya tahkimatı	Laubscher (1975) in Laubscher (1977)
Topolojik Sınıflama	Tanımlayıcı Form, Genel Tip	Kominikasyon	Matula ve Holzer, 1978
Tek Form Kaya Sınıflama Sistemi	Tanımlayıcı Form, Genel Tip	Kominikasyon	Williamson, 1980
Basit Jeoteknik Sınıflama	Tanımlayıcı Form, Genel Tip	Genel	ISRM, 1981
Slope Mass Rating (SMR)	Tanımlayıcı Form, Genel Tip	Şevlerde stabilite problemleri ve destekleme sistemleri	Romana (1985)
Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)	Sayısal Form, Fonksiyonel Tip	Yeraltı kazısında tahkimat dizaynı	Hoek, 1994
Kaya Kütle İndeksi (RMi)	Sayısal Form, Fonksiyonel Tip	Genel karakterizasyon, tahkimat dizaynı, TBM uygulamaları	Palmström, 1995

(\*)Tanımlayıcı Form: Tanımlama için verilerin sisteme girilmesi

Sayısal Form: Karaktere göre sayısal derecelerin veri olarak kullanılması

Davranış Formu: Tünellerde kaya davranışının veri olarak kullanılması

Genel Tip: Sistemin genel karakterizasyon olarak çalışması

Fonksiyonel Tip: Sistemin özel uygulamalar için yapılandırılması (Örneğin, tahkimat için)

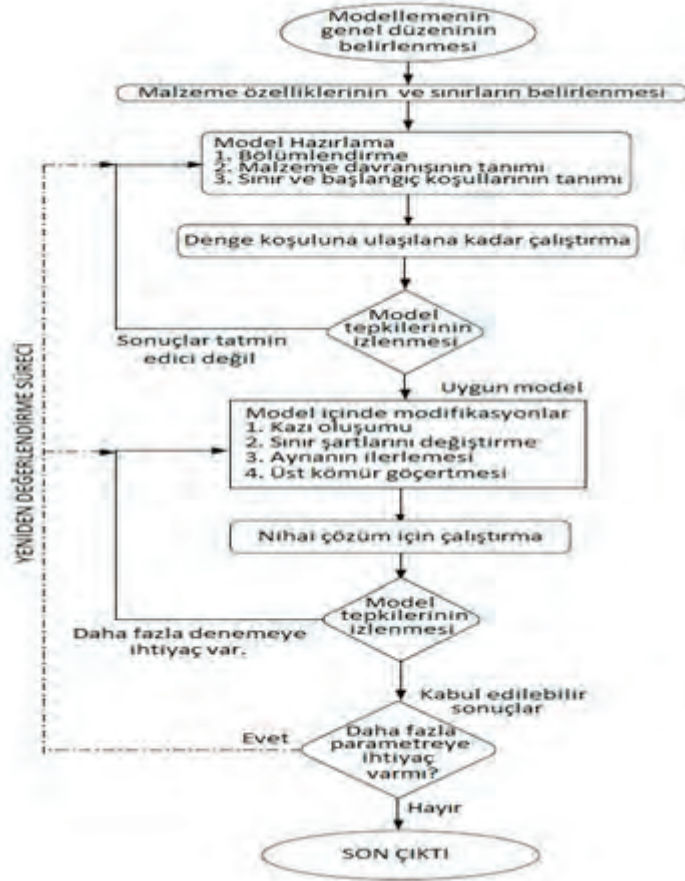
## 4 İŞLETME ŞEV AÇILARININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK GERÇEKLEŞTİRİLEN 3 BOYUTLU SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

### 4.1 Nümerik Modelleme Analizlerinde Kullanılan Prensipler

Yapılan bu çalışmaya en uygun olan yöntem “yakın saha gerilme ve deformasyonları” nı elde edebileceğimiz Sonlu Elemanlar yöntemi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmaların yürütülmesinde izlenen yöntem Şekil 4’de verilmektedir.

Ana prensipler ışığı altında yapılan çalışmada açık ocak bölgesinde yapılan sondaj ve laboratuvar çalışmaları ile daha önce yapılmış akademik çalışmalar birleştirilmiştir. Daha sonra proje

kapsamında yapılan jeoteknik sondajlar ve bu sondajlardan elde edilen veriler, bu veri tabanına entegre edilerek sahayı temsil edecek ön modeller oluşturularak bazı geri bildirimler alınmıştır. Elde edilen geri bildirimlerin değerlendirilmesi sonucunda sahanın gerilme-deformasyon karakterleri belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmalar ve geri bildirimler vasıtasıyla sahanın kısıtlamaları görülmüş ve şev stabilitesi için ön modeller oluşturulmuştur. Şev stabilitesi ön modellerinden elde edilen sonuçlar yukarıda verilen kaya kütle özellikleri, çalışma sahasının deformasyon özellikleri ile birlikte yorumlanarak nihai modeller oluşturulmuştur.



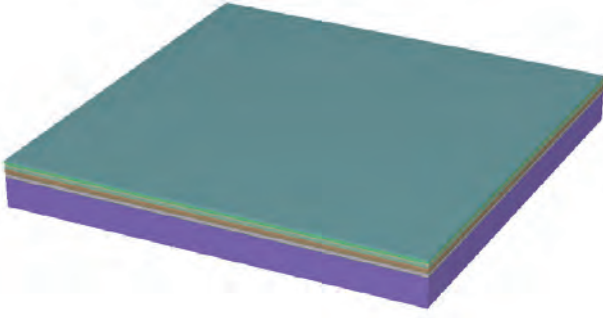
Şekil 4. Nümerik modellemede kullanılan prensipler

### 4.2 Nümerik Modellemede Kullanılan Veriler ve Parametreler

Araştırma kapsamında son yapılan jeoteknik sondajlardan alınan sondaj verileri

değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda PLAXIS 3D yazılımına sondaj verileri entegre edilmiştir. Sondaj verilerinin modele entegrasyonu sonucunda oluşan kaya profili Şekil 5’de verilmektedir. Sondaj

verilerinin tanımlanmasında kullanılan stratigrafik kolon daha önceki bölümde verilmiştir.



Şekil 5. Modelde oluşturulan kaya kütlesi profili

Nümerik modelleme çalışmalarında, daha önce bahsedildiği üzere işletme tarafından yaptırılan jeo-teknik sondajlar temel alınmıştır. Nümerik modelleme çalışmalarında ise tarafımızca gerçekleştirilen kaya kütle kalite çalışmalarından elde edilen parametreler alınarak modelleme çalışmaları yürütülmüştür.

Gerçekleştirilen birçok model sonrasında elde edilen nihai şev geometrisinde sondaj lokasyonlarına göre değişik şev geometrilerinin belirlenmiştir. Bunun ana amacı, mümkün olduğunca az kazı yaparak güvenli bölgede kalarak işletme operasyonlarının yürütülmesine olanak sağlayacak koşulları ortaya koymaktır. Bu kapsamda, İşletmenin DSK-1 sondajının yapıldığı bölgede ilk 30 metrede şev açısı 14 derece ve daha sonraki derinliklerde ise 27.75 derece olarak seçilmiştir. Bu durumda, işletmenin DSK-1 bölgesindeki nihai şev açısı 21.5 derece olmuştur. DSK-2 sondajının olduğu bölgede ise ilk 100 metrede şev açısı 26.5 derece ve sonraki derinliklerde 29.94 derece olarak hesaplanmıştır. DSK-3 sondajı ise ocağın ilerleme yönündeki şevleri temsil etmektedir. Bu durumda tek bir şev açısı belirlenmiştir. Ocağın ilerleme yönündeki genel şev açısı 21.8 derece olarak belirlenmiştir.

Modelleme esnasında, Mohr-Coulomb modeli kullanılmıştır. Şev problemi ile çalışıldığından ve güvenlik katsayısı hesaplanacağından Gravite Yüklemesi

yapılmış ve başlangıç koşulu olarak da K0 prosedürü uygulanmıştır.

Yer altı su seviyesi de sondajlara bağlı olarak modele entegre edilmiş ve bu sadece çoşluk basıncında tahmin edilmesine olanak sağlanmıştır. Şev yükseklikleri 10 m alınmıştır. Şev genişlikleri ise farklı lokasyonlar için farklılık arz etmektedir. Şev Stabilitesi analizlerinde her bir basamak için ayrı bir aşama tanımlanmış, böylelikle sahada yapılacak olan üretim aşama aşama modele entegre edilmiştir.

Kazı aşamasına ocaktaki ilk basamağın üretimi ile birlikte girilmiş, en alt basamağa kadar kazı gerçekleştirilmiştir. En alt basamağın kazısının tamamlanması ile birlikte, ilerleme yönündeki en üst basamak iki ilerleme yapmış ve bu esnada da kömürü alınmış bölgede iç döküm modele entegre edilmiştir.

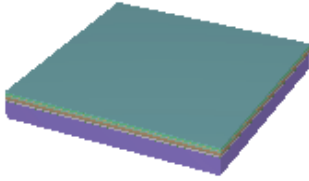
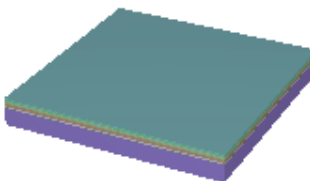
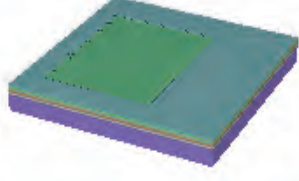
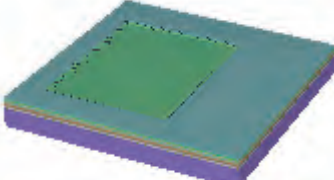
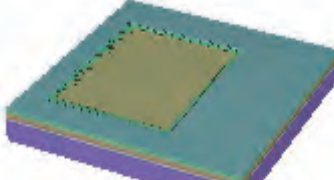
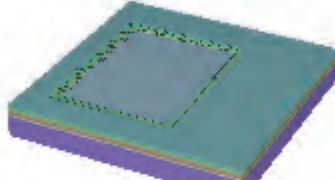
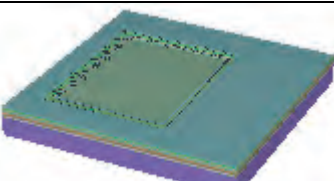
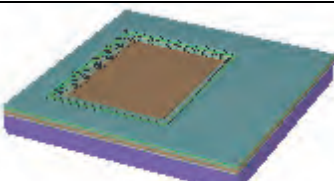
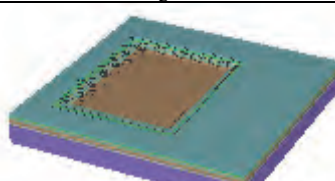
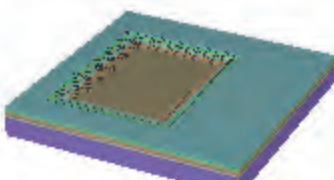
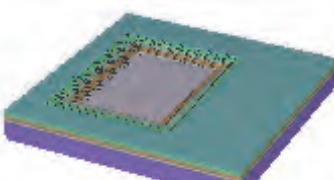
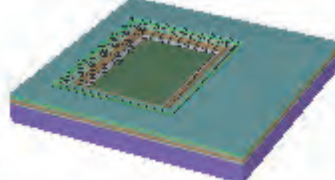
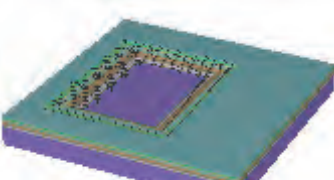
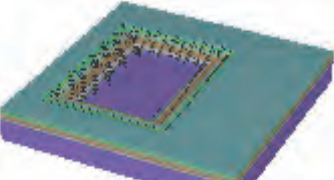
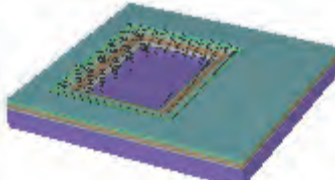
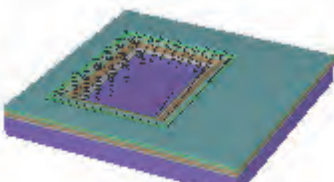
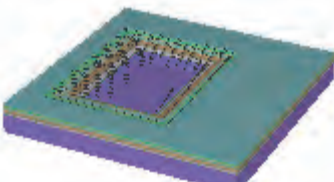
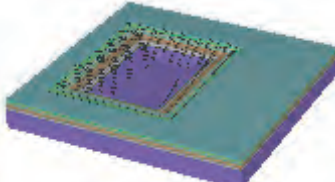
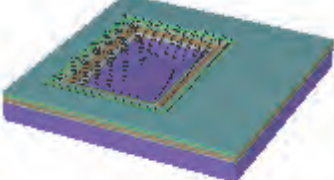
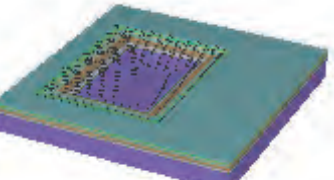
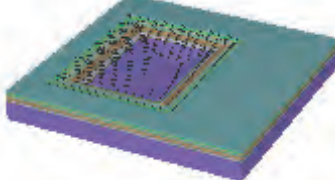
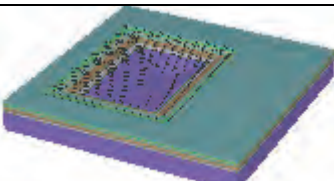
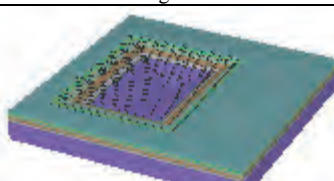
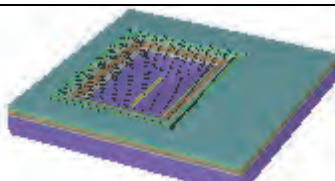
Bir sonraki aşamada ise ilerleme yönündeki en üst basamağın altında iki ilerleme yapılmış, iç döküm bir öncekinin üstünde bir basamak oluşturacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar ilerleme yönünde yukarıdan aşağı doğru dekapaj yapılması ve aynı esnada kömürü alınmış bölgeye iç döküm yapılması şeklinde sürdürülmüştür.

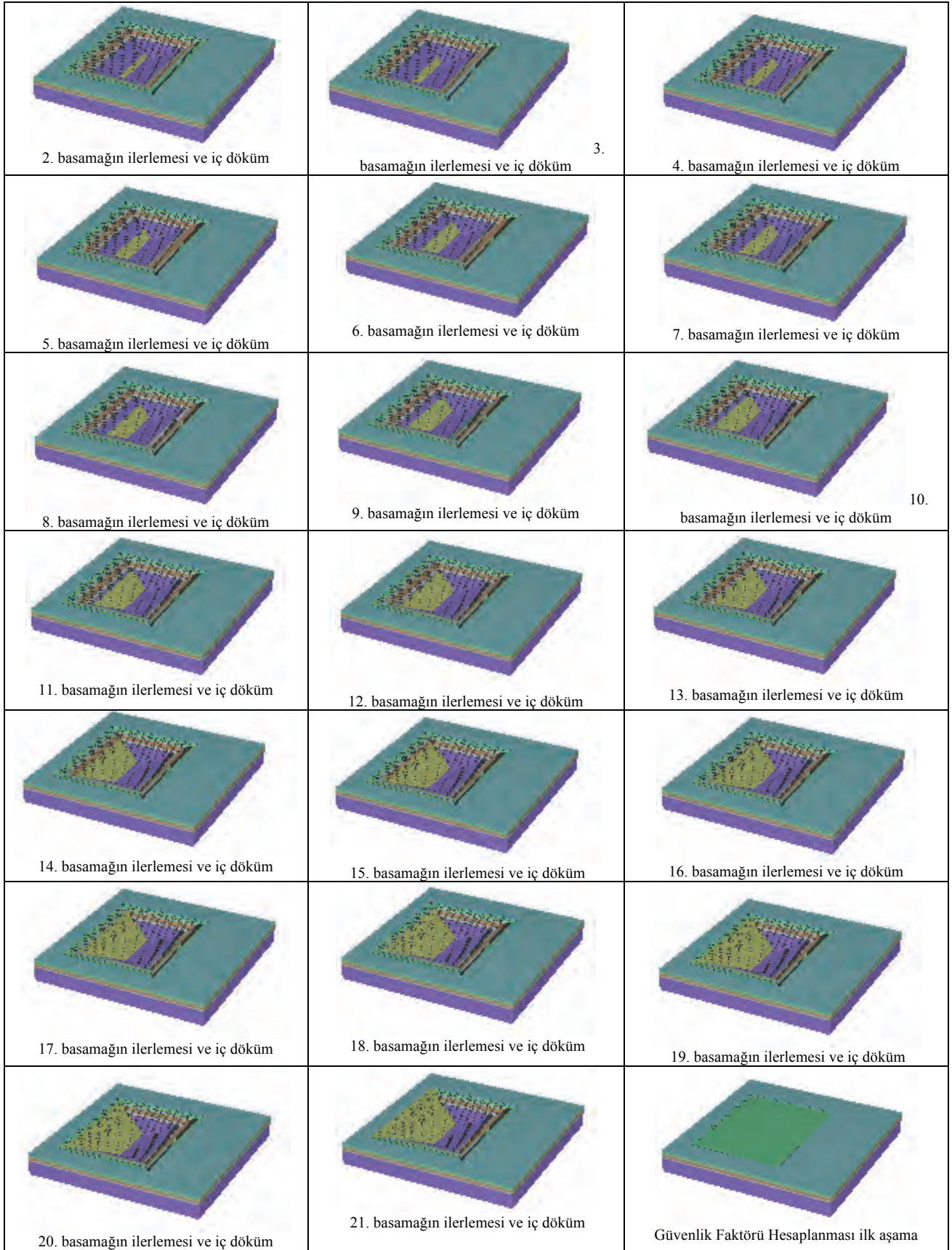
İlk aşama modelin sınır ve başlangıç koşullarının tanımlanması, 2. aşama deformasyonların sıfırlanması olarak tanımlanmıştır. İlk kömürün üzerinin açılmasına 22. aşamada ulaşılmıştır. Ocağın iki adım ilerlemesi ve iki adım iç döküm yapılmasının tanımlanması da dâhil olmak üzere toplam 42 aşama modele tanımlanmıştır.

En son aşamada (43. Aşama) c-φ reduction metodu ile güvenlik katsayısı hesaplanmıştır. Bu tipte bir işletmenin güvenlik katsayısı 2.019 olarak belirlenmiştir. Bu değer aslında kil içeren ve derin açık işletmeler için gözlem gerektiren bir değerdir. Bu nedenle, işletme esnasında jeoteknik izleme ve monitoring önem arz etmektedir ve mutlaka yapılması gerekmektedir.

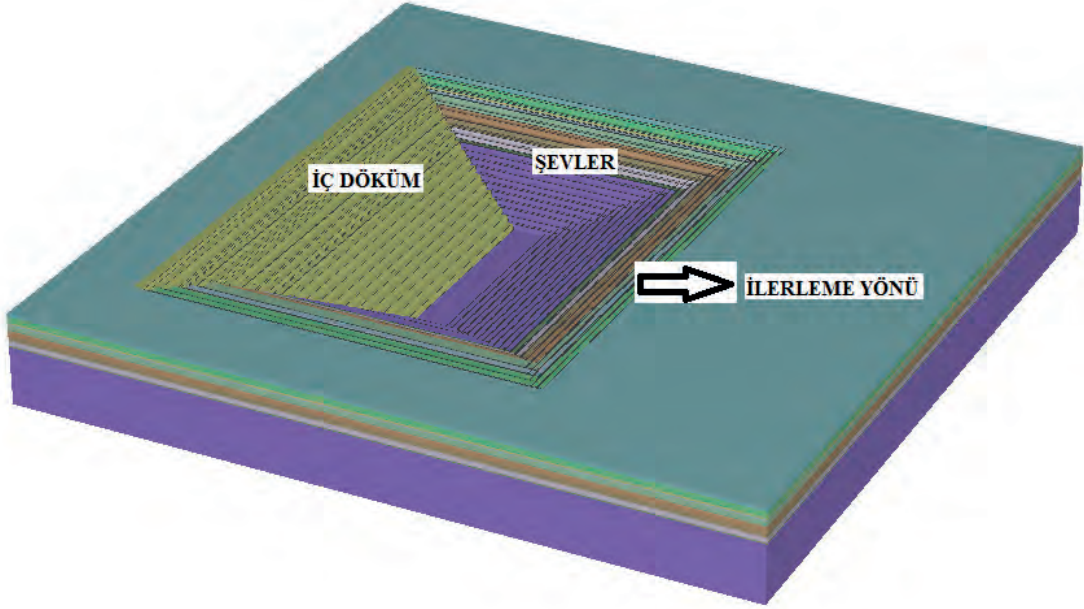
Modelin aşamaları aşağıda detayları ile verilmiştir.



 <p>Başlangıç Koşullarının tanımlanması</p>	 <p>Deformasyonların sıfırlanması</p>	 <p>İlk basamağın kazılması</p>
 <p>2. basamağın kazılması</p>	 <p>3. basamağın kazılması</p>	 <p>4. basamağın kazılması</p>
 <p>5. basamağın kazılması</p>	 <p>6. basamağın kazılması</p>	 <p>7. basamağın kazılması</p>
 <p>8. basamağın kazılması</p>	 <p>9. basamağın kazılması</p>	 <p>10. basamağın kazılması</p>
 <p>11. basamağın kazılması</p>	 <p>12. basamağın kazılması</p>	 <p>13. basamağın kazılması</p>
 <p>14. basamağın kazılması</p>	 <p>15. basamağın kazılması</p>	 <p>16. basamağın kazılması</p>
 <p>17. basamağın kazılması</p>	 <p>18. basamağın kazılması</p>	 <p>19. basamağın kazılması</p>
 <p>20. basamağın kazılması</p>	 <p>21. basamağın kazılması</p>	 <p>1. basamağın ilerlemesi ve iç döküm</p>

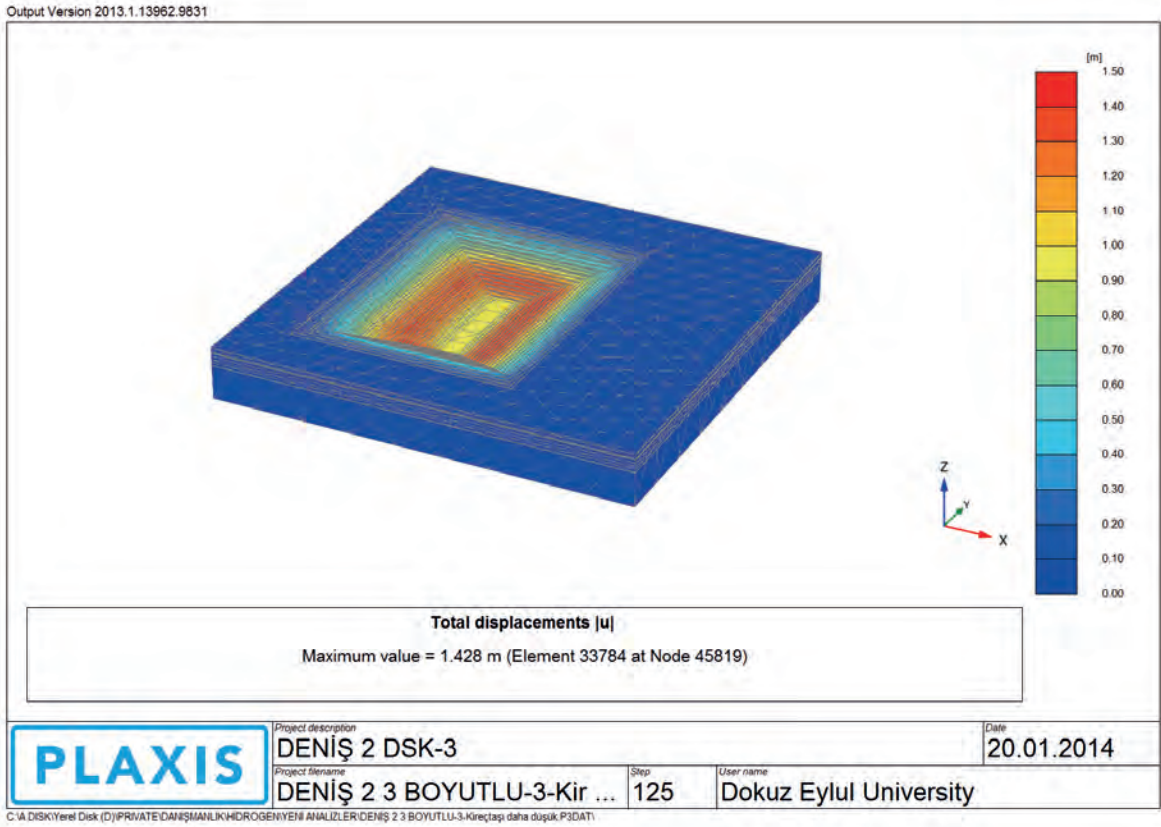


Modelin son halini gösteren 3 boyutlu görüntü Şekil 6'da verilmektedir.



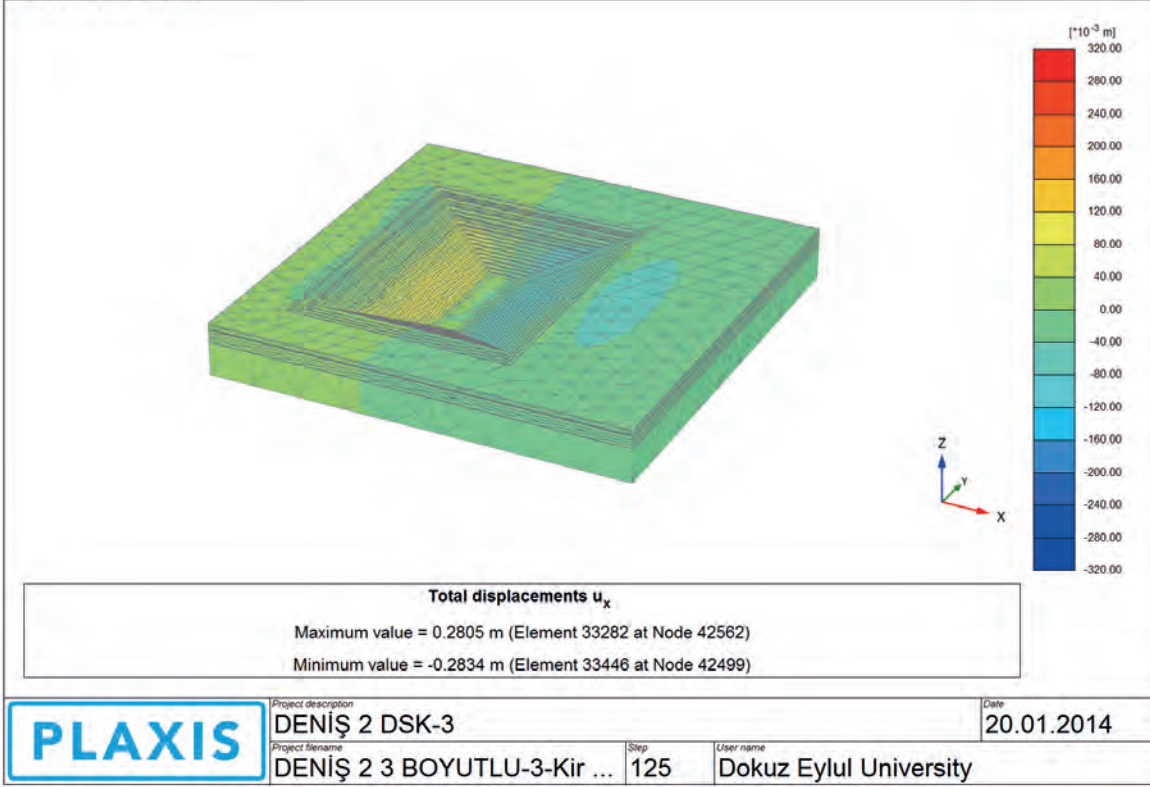
Şekil 6. Modelin son hali

Modelin son aşamasına ait çözüm sonuçları aşağıda detayları ile verilmektedir.



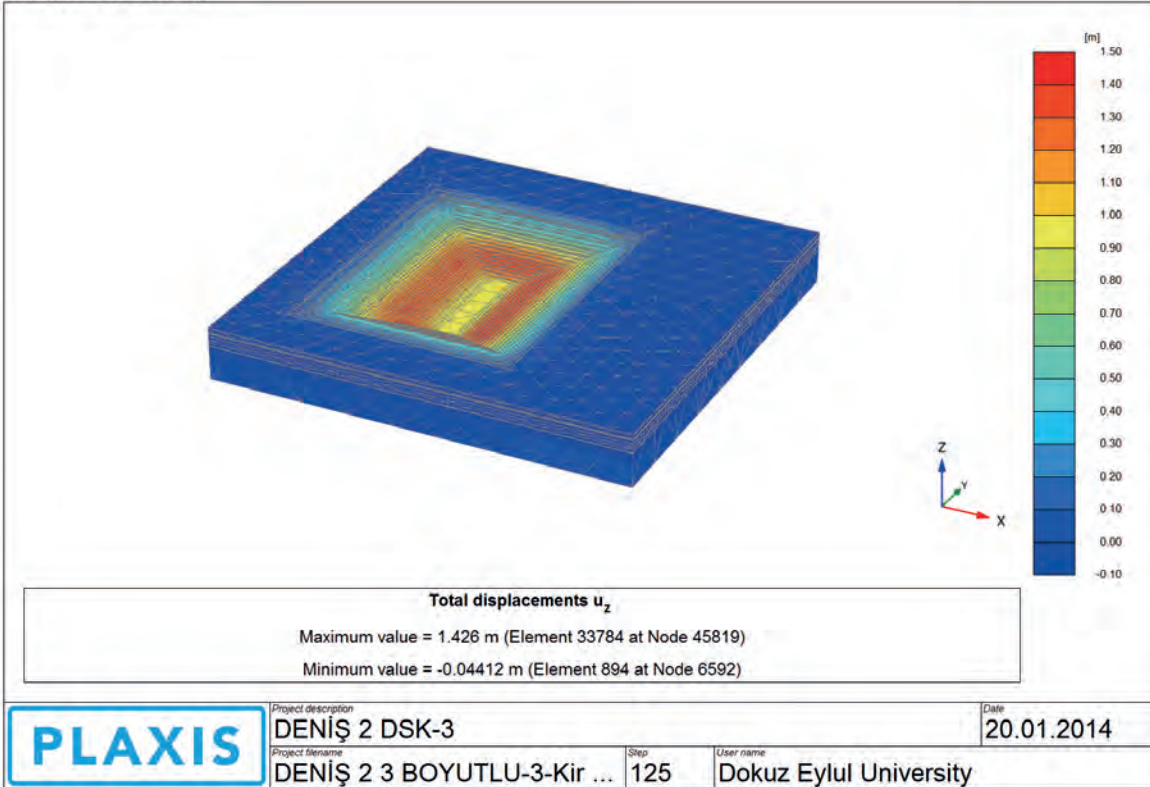
Şekil 7. Modelde oluşan toplam deformasyonların renk diyagramı ile gösterimi

Output Version 2013.1.13962.9831

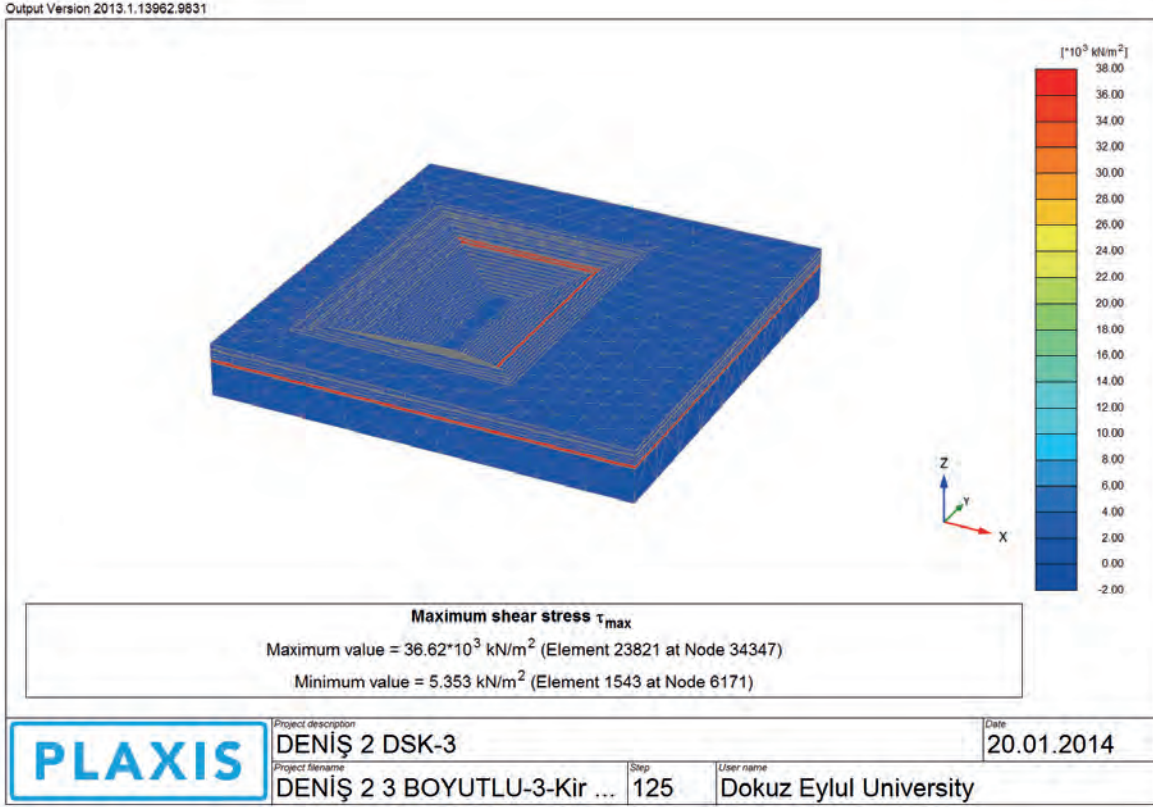


Şekil 8. Modelde oluşan yatay deformasyonların renk diyagramı ile gösterimi

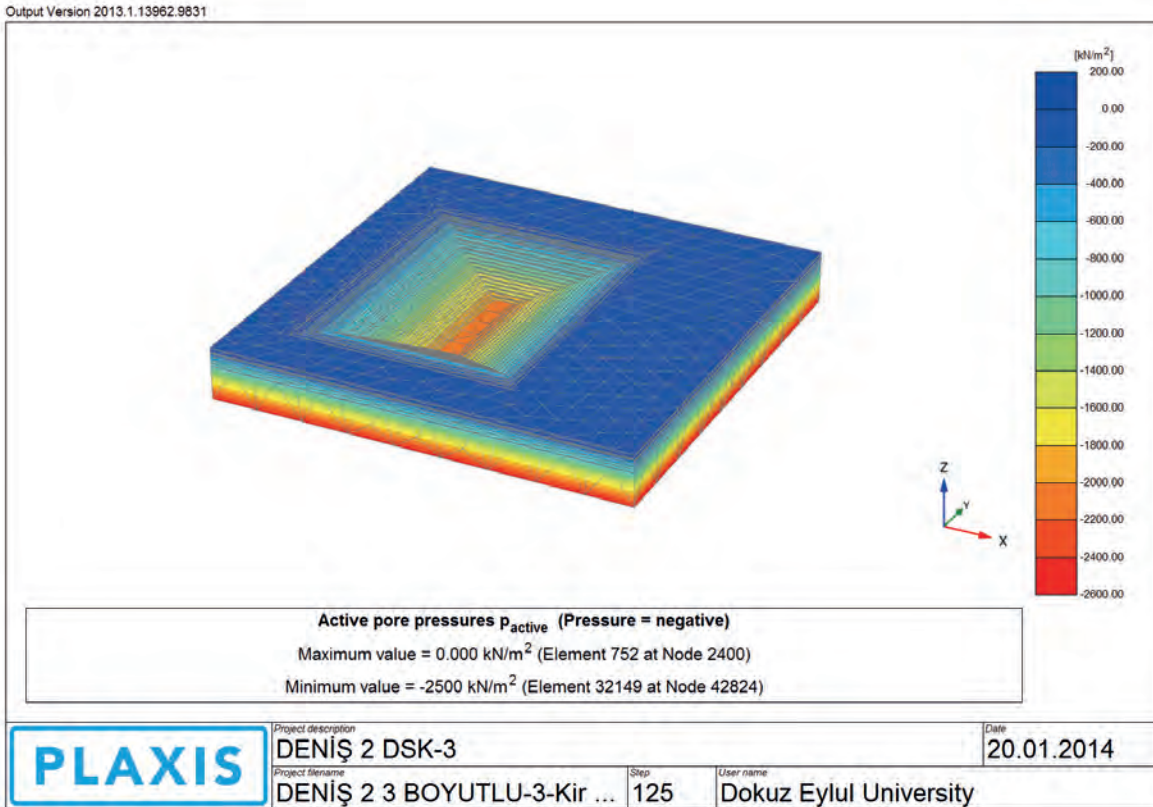
Output Version 2013.1.13962.9831



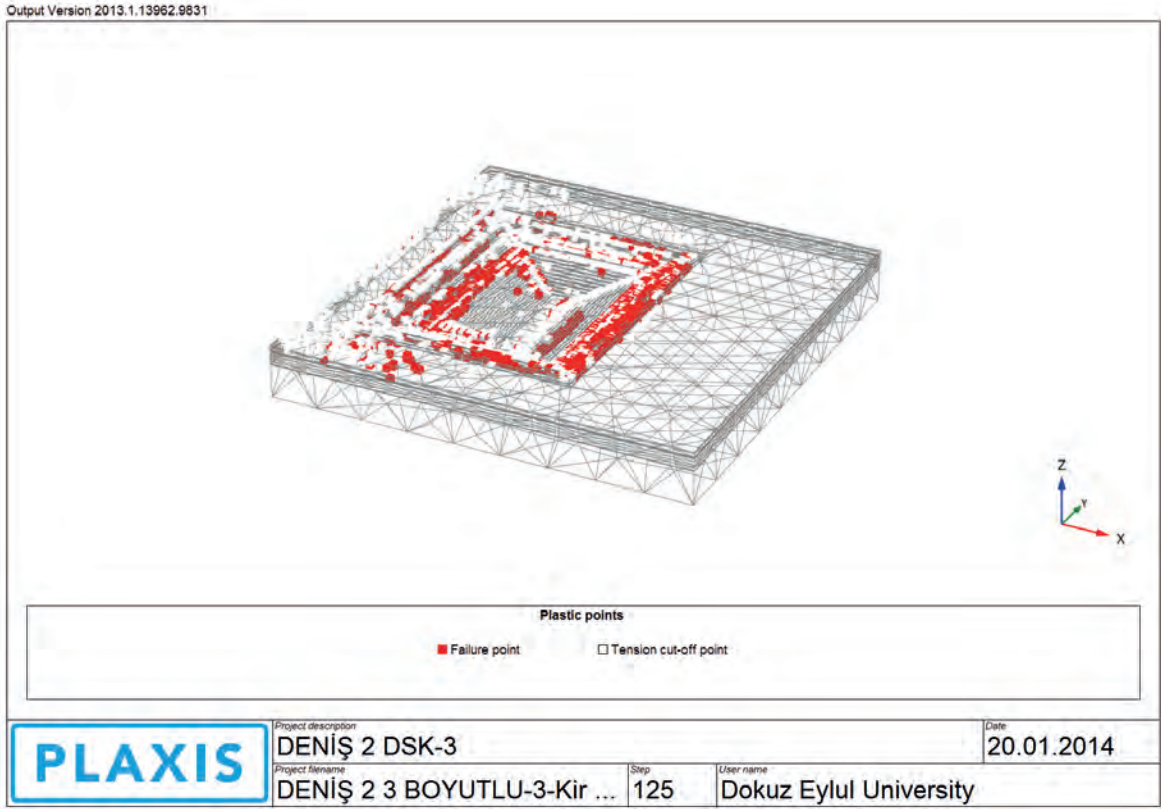
Şekil 9. Modelde oluşan düşey deformasyonların renk diyagramı ile gösterimi



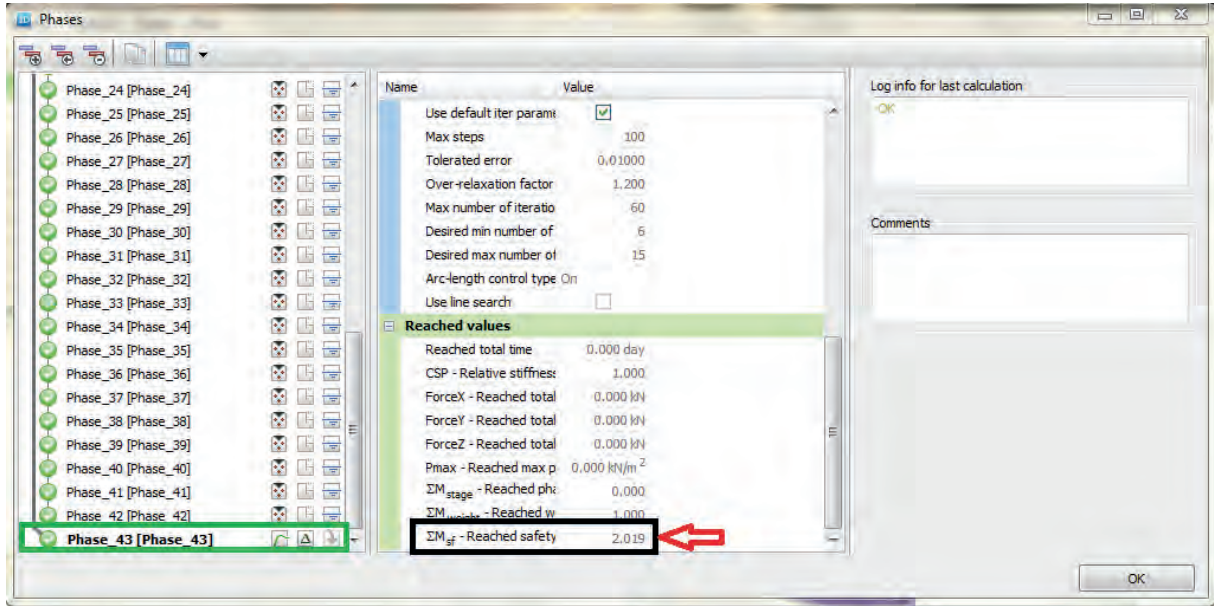
Şekil 10. Modelde oluşan maksimum kayma gerilmelerin renk diyagramı ile gösterimi



Şekil 11. Modelde oluşan aktif boşluk basıncının renk diyagramı ile gösterimi



Şekil 12. Modelde oluşan plastik noktaların görünümü



Şekil 13. Modelde hesaplanan Güvenlik Katsayısı (2.019)

Deniş Soma-Deniş sahasında gerçekleştirilecek olan açık işletme operasyonları için güvenli şev parametrelerinin belirlenmesi amacıyla 3 boyutlu nümerik modelleme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda benimsenen prensipler yukarıda detayları ile verilmiştir. Gerçekleştirilen modellemeler ile elde edilen sonuçlar yukarıda şekillerle verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, modelde 1.428 m

toplam deformasyon olduğu görülmektedir. Modelde oluşan yatay ve düşey deformasyon miktarı sırasıyla 0.2834 m ve 1.426 m olarak gerçekleşmektedir.

Bu sonuçlar yorumlandığında düşey deformasyonun fazla olduğu görülmektedir. Bunun anlamı şudur: Açık işletme operasyonları süresince Aktif Blok/Pasif Blok teorisinde olduğu gibi bir deformasyon beklenmektedir. Ocak derinleştikçe

yukarıdaki bloğun ağırlığı ile aşağıdaki blokta ezilme ve itmelere bağlı olarak hareketlenmeler beklenmelidir.

## 5 SONUÇ

Soma-Deniş sahasında gerçekleştirilecek olan açık işletme madenciliği esnasında oluşturulacak şevlerin işletme ömrü boyunca stabil kalabilmesi için 3 boyutlu nümerik modelleme ile performans sorgulaması yapılmıştır. 200 m derinliğe incek olan işletmenin stabil bir durumda olabilmesi için gerekli genel şev açısının 21.8 derece olduğu ve bu durumda da Güvenlik Faktörünün 2.019 olacağı belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Barton, N., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of rock support. *Rock Mec.* 6, 189-236.
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering classification of jointed rock masses. *Trans. S. Afr. Instn. Civ. Eng.* 15(12), 335-344.
- Deere, D.U., Hendron, A.J., Patton, F.D., Cording, E.J., 1967. Design of surface and near surface construction in rock. In: *Proc. 8th U.S. Symp. Rock Mech.* AIME, New York, pp. 237-302.
- Edelbro, C., 2006. Strength of hard rock masses: a case study. *Technical report*, Division of Mining and Geotechnical Engineering, Luleå University of Technology.,
- Franklin, J.A., 1975. Safety and economy in tunnelling. In: *Proc. 10th Int. Can. Rock Mech. Symp.* Queens University, Kingston, Canada, pp. 27-53.
- Hoek, E., 1994. Strength of rock masses. *News Journal of ISRM.* 2(2), 4-16.
- ISRM, 1981. Basic geotechnical description of rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 18, 85-110.
- Laubscher, D.H., 1977. Geomechanics classification of jointed rock masses-mining applications. *T. I. Min. Metall.* A86, A1-A8.
- Lauff er, H., 1958. Classification for tunnel construction. *Geol. Bauwesen.* 24(1), 46-51 (in German).
- Matula, M., Holzer, R., 1978. Engineering typology of rock masses. In: *Proc. Felsmekanik Kolloquium, Grundlagen und Anwendung der Felsmekanik.* Karlsruhe, Germany, pp. 107-121.
- Nebert, K., (1978); Linyit içeren Soma Neojen Bölgesi, Batı Anadolu: *Maden Tetkik Arama Enst. Dergisi*, 90, 20-70.

- Palmström, A., 1995, RMI-A rock mass characterization system for rock engineering purposes, *PhD Thesis*, University of Oslo, Norway
- Palmström, A., 2000, Recent developments in rock support estimates by the RMI, *Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology*, 6, 1, 1-19
- Palmström A., Stille, H., 2007, Ground behaviour and rock engineering tools for underground excavations, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 22, Issue 4, July 2007, Pages 363-376
- Patching, T.H., Coates, D.F., 1968. A recommended of rock classifications for rock mechanics purposes. *CIM Bull.*, 1195-1197.
- Rabcewicz L., 1964. The New Austrian Tunnelling Method, Part one, *Water Power*, November 1964, 453-457, Part two, *Water Power*, December 1964, 511-515
- Romana, M., 1985. New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. In: *Proceedings of the Int. Symp. on the Role of Rock Mech.*, Zacatecas, pp.49-53.
- Terzaghi, K., 1946. Rock defect sand loads on tunnel supports. In: *Proctor, R.V., White, T.L. (Eds.), Rock Tunneling with Steel Supports.* Commercial Shearing and Stamping Company, Youngstown, OH, 1, pp.17-99.
- Wickham, G.E., Tiedemann, H.R., Skinner, E.H., 1972. Support determination based on geologic predictions. In: *Proc. Rapid Excav. Tunneling Conf.* AIME, New York, pp. 43-64.
- Williamson, D.A., 1980. Uniform rock classification for geotechnical engineering purposes. *Trans. Res. Rec.* 783, 9-14.

# Soma Kömür Havzasında Pliyosen Kaya Birimlerinde RMR, Q-Sistemi ve GSI Değerlerinin İlişkilendirilmesi

## *Relating RMR, Q-System and GSI Ratings in Pliocene Formations of Soma Coal Basin*

İ. F. Öge

*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü*

F. E. Yağımlı, A. Türkoğlu

*Polyak Eynez Enerji Üretim A.Ş.*

**ÖZET** Soma kömür havzasında hazırlık amacı ile sürülen desandrenin pliyosen birimler içerisinde geçen kısmında ayna kazısı ilerledikçe kaya sınıflama sistemleri olan RMR, Q ve GSI değerleri saptanmıştır. Bu değerlerin birbirleri ile olan ilişkileri incelenmiş ve sunulmuştur. Kaya sınıflama sistemleri arasındaki ilişkiyi belirten çalışmalar literatürde mevcuttur. Soma bölgesinde Pliyosen birimler madencilik faaliyetleri esnasında daha kısa uzunluklarda geçildiği ve kömür horizonunun çok üstlerinde bulunduğundan dolayı bu birimlerde madencilik tecrübesi, ana kömür damarının bulunduğu Miyosen birimler ile karşılaştırıldığında daha sınırlıdır. Çalışmadan elde edilen bilgiler ile bu jeolojik birimlerde tasarım yapılmasında yarar sağlayacak veriler sunulmuştur.

**ABSTRACT** During a decline heading for mine development in Soma coal basin, RMR, Q and GSI rock mass classification values were determined in Pliocene rock formations. Correlations between rock mass classification systems exist in the literature. In Soma region, experience in Pliocene units is limited when compared to Miocene units, because Pliocene units are located far above the main coal seam, and are intersected for short distances during coal mining activities. The outcome of this study is considered to be beneficial for design works involving the mentioned Pliocene geological units.

### 1 GİRİŞ

Kalın kömür damarının bulunduğu Soma Kömür Havzasında tavan kömürü üretiminde göçertmeli uzunayak yöntemi 1980'lerin başından beri uygulanmaktadır, (Doktan ve İnci, 1986; 1987). Soma havzası günümüzde de Türkiye'nin önemli kömür yatakları arasında yer almakta ve çeşitli yer altı işletmelerinde üretim devam etmektedir, (Başarı vd., 2015; Aksoy vd., 2016).

Yeraltı açıklıklarının duraylılık ve deformasyon açısından değerlendirilmesi amacıyla, sayısal modelleme girdi parametrelerinin oluşturulmasında kaya kütle sınıflama sistemlerinin önemi büyüktür ve çok sayıda sınıflama sistemi ve bunlardan

kaya mekaniği parametreleri elde edilebilecek bağıntılar geliştirilmiştir, (Aydan vd, 2013). RMR (Bieniawski, 1989) ve Q-Sistemi (Barton vd., 1974) kaya kütle sınıflama sistemleri olup GSI (Jeolojik Dayanım İndisi), (Hoek, 2007) kütle için sadece yapısal ve süreksizlikler açısından kalitesini göstermektedir ve kaya malzemesi ile kaya kütle dayanım ve deformabilite parametrelerinin ilişkilendirilmesinde kullanılmaktadır. Marinos (2014) fliş tip kaya kütlelerine özgü GSI kestirim tablosu ve belirli değerlere karşılık gelen zemin davranışlarını ilişkilendirmiştir. Fliş tip birimler için geliştirilen tablo, tabakalı ve ardalı sedimanter jeolojik birimlerin



GSI değerinin kestirilmesinde yararlı olduğu görülmüş olup, bu çalışmada da uygun olduğunda kullanılmıştır.

## 2 ÇALIŞMA ALANI JEOLJİSİ

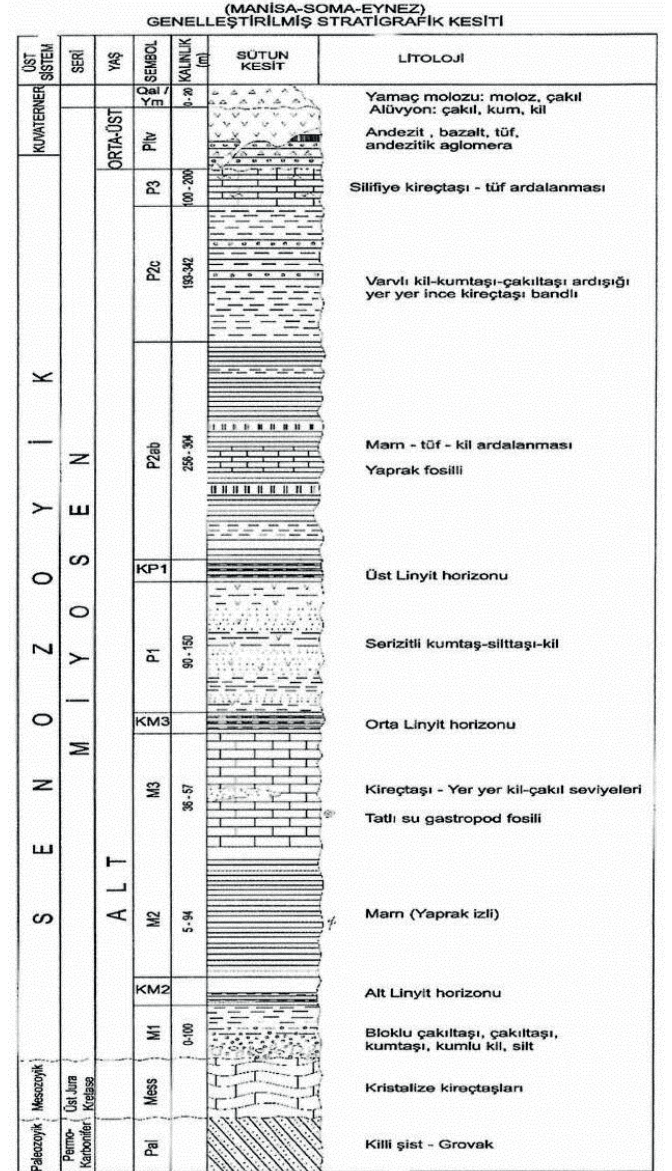
Çalışma alanı ile ilgili jeolojik çalışma ve araştırma yapılmıştır, (Tüysüz ve Can, 2013). Çalışmaya temel teşkil eden yeraltı kömür işletmesi hazırlık çalışmaları çerçevesinde sürülen desandre Soma Havzasında bütün jeolojik birimleri keserek geçmektedir. Genelleştirilmiş stratigrafi şekilde verilmiştir, (Şekil 1).

Sadece desandre jeoteknik araştırmaları yürütülmesi için yüzeyden desandre hattına uygun yakınlıkta 16 adet sondaj açılmıştır. Yer altında gaz, yeraltı suyu ve diğer riskleri öngörebilmek için kontrol sondajları yapılarak ilerleme yapılmaktadır. İlaven kömür horizonunu kesen sondajlardan da yararlanılarak desandre hattı jeolojisi kestirilmektedir.

Bu çalışmada sözü edilen Pliyosen birimler dikkate alınmış, genellikle büyük değişim sergileyen, zayıf ve yeraltı açıklıklarının oluşturulmasında problem doğurabilecek birimlerdir. Yer yer volkanik sokulumlar veya düzenli tabakalı duraylı sedimanter birimlere kadar hemen her değişik kaya kütle durumu geçilmiştir. Hakim birimler olan P2c, gri-yeşil, gri-bej renkli olup kumtaşları kötü boylanmalı iri-orta taneli, gevşek tutturulmuş ve yer yer düzensiz tabakalanmalıdır. Kumtaşları ile ardalanmalı görülen çakıltaşları gri renkli, kötü tutturulmuş, kötü boylanmış ve iyi yuvarlaklaşmış elemanlardan oluşur.

P2c seviyesi içinde kil ve kumtaşları arasında yer yer bej renkli ince kireçtaşı bantları da gözlenir. Çakıl taşı seviyeleri kil, silt ile tutturulmuştur. Galeri sürümü esnasında aynada yapılan gözlemlere göre, kıltaşı, siltaşı, kumtaşı, konglomera kireçtaşı ve yer yer marn bantları gözlenmiştir. Yer yer, P2c formasyonun içerisinde organik malzeme içeren killer bulunmaktadır (bataklık ortamına yakın bir ortamda oluşmuş), bu killer içerisinde 5 santimetreyi geçmeyen çok ince siyahımsı renkli zonlar

da gözle görülmekte olup bu zonlar gaz barındırmaktadır.



Şekil 1 Soma kömür havzası genelleştirilmiş stratigrafik kesit (İnci, 1998)

Desandrede volkaniklerden ilk çıkılan metrajlarda alınan tabaka ölçüleri 317°/29° civarında olmuştur. Daha sonrasında birimdeki slump yapıları yer yer gözlenmiş ve tam olarak düzenli bir tabaka yapısının olmadığı anlaşılmıştır. Desandrenin 0+521 metresinde aynada süreksizlik takımları belirgin şekilde gözlenmeye başlanmıştır. Süreksizlik takımı yaklaşık 1 metre aralıklı olarak başlamış ve daha sonrasında da süreksizlik takımları çeşitlenerek ve süreksizlik aralığı sıklaşarak devam etmiştir. 0+605-0+620 metreler arasında ise yaklaşık 0+657 metrede isabet edilen ana fay zonu ile aynı özellikte olan tamamen deforme olmuş siyah parlak renkli marn ardalanmalı

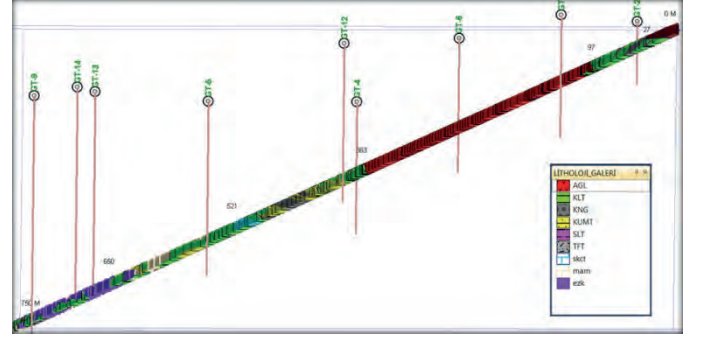
kiltaşları gözlenmiştir. 0+657 metrede tamamen ana fay zonu içerisine girilmiştir. Fay zonu; düzensiz tabakalı, siyah parlak, marn ardalanmalı/laminalanmalı, kayma yüzeyleri içeren, yer yer akıcı ve plastik özellikli kilttaşlarından oluşmuş bir zondur. Bu zon 0+750 metreye kadar aynanın tamamını kaplamış durumdadır. Bu geçişten sonra yer yer kilttaş marn ardalanmaları aynanın batı duvarında görülmekle beraber fay zonu içerisindeki plastik özellikli siyah killer ve yer yer 30 santimetre süreksizlik aralıklı 3 eksendeki süreksizlik takımları 0+792 metreye kadar devam etmiştir. 0+792 metrede desandre bütün formasyonları keserek gelen intrüzif kaya olan bazalta girmiştir. Bu bölgedeki bazalt çıkışı da bölgenin fay zonu olduğunu doğrulamaktadır. İntüzif kayalar, fay zonları ve deforme olmuş ezik zonlar boyunca hareket etmektedir. 0+792 metreden sonraki bazaltlar 30 cm süreksizlik sıklığında ve 3 eksende süreksizlik takımları içermektedir.

P2c olarak isimlendirilen formasyon; genç bir çökel olması, pekişmemiş olması ve sık olarak slump yapılarının görüldüğü bir formasyon olduğundan dolayı genel dayanımı ve duraylılığının düşük olduğu bilinmektedir. P2c içerisinde girilen Volkanikler (plvt); desandre 0+097 – 0+363 metreler arası volkanik birimlerde ilerlemiş olup bu volkanik birimler aglomera yer yer iri andezit blokları ve tüfitlerden oluşmaktadır. Volkanik birimlerde süreksizlik takımlarının kontrolünde su gelişleri olmaktadır. Genel olarak duraylı ve kendini taşıyan bir birim olduğu söylenebilir.

P2ab birimi ise tabanda egemen olarak marnlarla başlayıp üstte kil-tüf-marn ardalanmasına yerini bırakır. Marnlar ince katmanlı, yeşilimsi ve sarımsı renkli olup yer yer yaprak fosilleri kapsar. Yer yer çeşitli uzunluklarda volkanik kaya birimlerine (aglomera, andezitik bazalt) rastlanmış ve çeşitli uzunluklarda geçilmiştir. Bu birim marn, kilttaş, marn-kilttaş ardalanmaları, siltaşından oluşmakta, bantlı yapı görülmektedir. Süreksizlik kalitesi genelde P2c birimine kıyasla daha iyidir. Birimin üst kısımlarında nispeten zayıf kilttaş bantları hakimiyeti varken, derinlik arttıkça tabaka

aralıkları artan marn birimleri hakimiyet kazanmaktadır. Arında veya daha fazla metre seviyelerini geçmeyen atımlarda süreksizlikler gözlemlenmiştir.

Örnek oluşturması açısından, hem zayıf hem de duraylı kaya kütlelerinin bulunduğu bir geçiş 3 boyutlu olarak modellenmiş ve verilmiştir, (Şekil 2).



Şekil 2 Duraylı volkanik zonlar (kırmızı) ve tektonik etkiye maruz kalmış, ezik zon (mor)

### 3 KAYA KÜTLE SINIFLAMA ÇALIŞMALARI VE BİRBİRLERİ ARASINDA İLİŞKİLER

RMR sistemi temel beş parametrenin toplanmasından ve 0 ile 100 arasında değer veren bir sistemdir, (Bieniawski, 1989). Gerektiğinde süreksizlik düzeltmesi ve ilave düzeltme katsayıları uygulanabilir. Q sistemi ise 0.001 ile 1000 değeri arasında puanlanan ve temelde altı parametre ile puanlanır, (Barton vd., 1974). RMR ve Q-sistemi kaya sınıflama sistemleri ilişkilendirilmesinde birçok araştırmacı çalışma yapmıştır ve genellikle ilişki denklemi  $RMR = A \ln(Q) + B$  formundadır. A ve B yapılan araştırmalara göre farklı sabitler olmaktadır, (Singh ve Goel, 2011). Diğer kaya sınıflama sistemleri arasında bağıntılar da bulunmaktadır. Hoek ve Brown'a (1997) göre,

$$GSI = RMR'89 - 5 \quad (RMR > 23, GSI > 18)$$

Burada RMR'89, yeraltı suyu puanınının 15 alınarak hesaplandığı değerdir. Bu değer kuru kaya kütlelerini temsil eder. Benzer şekilde  $GSI < 18$  öngörüldüğünde:

$$GSI = 9 \ln Q' + 44$$

Olarak alınmış ve Q' değeri, SRF (gerilme indirgeme faktörü) ve  $J_w$  (yer altı suyu puanı) parametreleri ihmal edilerek aşağıdaki şekilde verilmiştir:

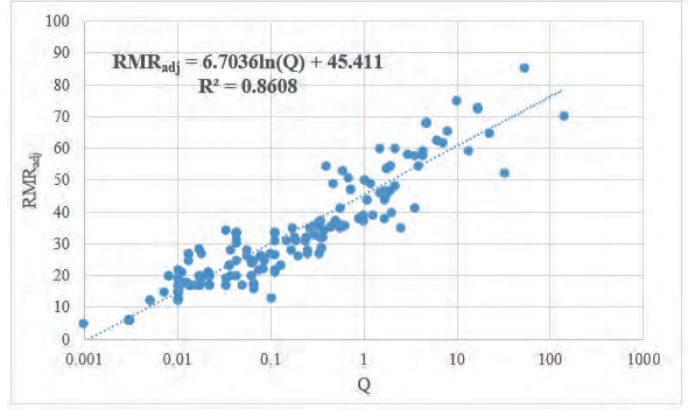
$$Q' = RQD/J_n * J_r / J_a$$

Burada Kaya kütle kalitesi (RQD), eklem takımı puanı ( $J_n$ ), eklem pürüzlülüğü ( $J_r$ ), eklem alterasyon sayısı ( $J_a$ ) kullanılmaktadır.

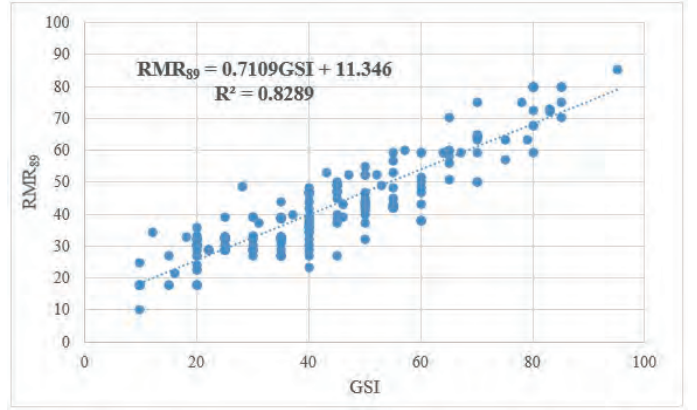
Tzamos ve Sofianos (2007), RMR ve Q değerlerinin yapısal parametrelerini, ki bunlar GSI indeksinin parametreleri olan süreksizlik takımı ve sıklığı, kalitesi ve durumu göstergeleridir, birbirleri ile ilişkilendirmiştir.

Palmström (2009), RMR, Q ve RMI sınıflama sistemlerini ve bunların ilişkilendirilmesine katkıda bulunmuştur. Sonuç olarak, birbirleri arasında ilişkiler verirken, birkaç kaya kütle sınıflama sisteminin aynı anda ve ayrı olarak hesaplanmasının yararlı olacağını belirtmiştir. Yaygın kullanılan eşitlikler arasındaki hata payının kayda değerliğine vurgu yapmıştır.

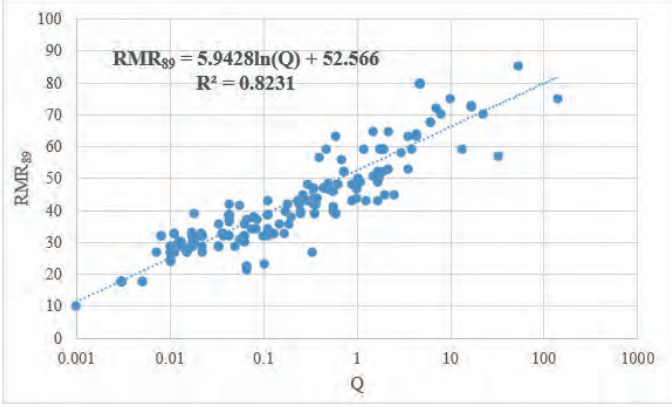
Soma Pliyosen formasyonu baz alınarak gerçekleştirilen çalışmada  $RMR_{89}$  temel puanı, süreksizlik düzeltmesi içeren  $RMR_{adj}$  değerleri, Q, Q' ve GSI değerleri galeri aynasında ayrı olarak hesaplanmıştır ve daha sonra ilişkilendirilmiştir, (Şekil 3-8).



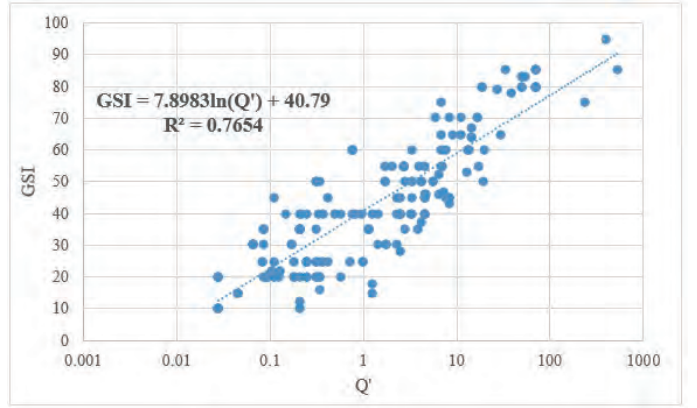
Şekil 5  $RMR_{adj}$  ve Q-Sistemi ilişkisi



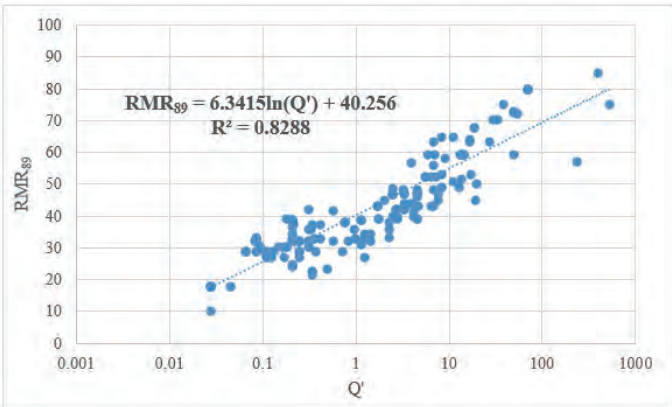
Şekil 6  $RMR_{adj}$  ve GSI ilişkisi



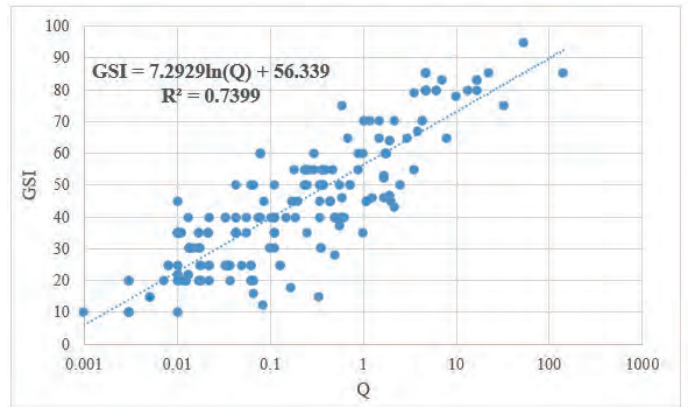
Şekil 3 RMR ve Q-Sistemi ilişkisi



Şekil 7 GSI ve Q' değeri ilişkisi



Şekil 4 RMR ve Q' değeri ilişkisi



Şekil 8 GSI ve Q-Sistemi ilişkisi

Yüksek deformasyon karakteri gösteren zeminlerde RMR puanlamasında düzeltme uygulanmıştır. Aynı zamanda, bölgede su hassasiyeti gösteren birimlerin mevcudiyeti kaya kütle sınıflama sistemlerinde de bunu temsil edecek parametre bulunmaması nedeni ile yeraltı suyu parametrelerinde yer yer daha tutucu değerler alınmıştır. Desandre de 1500m'lik bir kısımda yapılan incelemelerden elde edilmiştir.

#### 4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bulgular, bağdaştırılan parametreler arasında yüksek  $R^2$  değerleri ile kabul edilebilir seviyede ilişki bulunduğunu göstermektedir. Ancak, grafikler incelendiğinde, gayet yüksek  $R^2$  değerlerine rağmen verinin saçınımlı kayda değerdir. RMR ve Q değerleri arasında bu saçınımlı daha az ve kabul edilebilir seviyelerde iken GSI değeri ile yapılan çalışmalarda performans daha düşük olmaktadır. En iyi bağıntıyı vermesi gereken  $Q'$  değeri ile  $R^2=0.76$  civarlarındadır. Ancak, dağılım incelendiğinde geniş veri dağılımı gözlemlenmektedir. Soma bölgesinde pliyosen birimlerde, özellikle kaya kütlelerinin zayıf karakter sergilediği geçişlerde mevzu bahis parametrelerin kestirimi zor bir durum almaktadır. Bu gibi durumlarda, sınıflama değerleri, ayrı ayrı incelenmeli ve hesaplanmalıdır. Çalışmada sunulan grafikler, kontrol amaçlı kullanılabilir. İlaveten, tasarım aşamasında bazı değerlerin yokluğunda da çalışma bulgularının kullanılması yararlı olacaktır.

#### KAYNAKLAR

Doktan, M., İnci, Y., 1987. Status of thick seam coal mining over the world and in Turkey, *Proc.10th Turkey Scientific and Technical Congress*, Ankara, s.51-65.

Doktan, M., İnci, Y., 1986. The Production Method Adapted in Underground Pits of ELI-Soma Region and Possibilities of Mechanisation, *Madencilik*, vol. 25, s. 5-20.

Aksoy, C.O., Küçük, K., Uyar, G.G., 2016. Long-term time-dependent consolidation analysis by numerical modelling to determine subsidence effect area induced by longwall top coal caving

method, *Int. J. Oil Gas Coal Tech.*, vol. 12, No. 1, s. 18-37

Basarir, H., Oge, I.F., Aydin, O., 2015. Prediction of the stresses around main and tail gates during top coal caving by 3D numerical analysis, *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.*, vol. 76, pp. 88-97.

Aydan, Ö., Ulusay, R., Tokashiki, N., 2014. A new rock mass quality rating system: rock mass quality rating (RMQR) and its application to the estimation of geomechanical characteristics of rock masses. *Rock Mech Rock Eng* 47(4), s.1255-1276

Marinos, V., 2014. Tunnel behaviour and support associated with the weak rock masses of flysch, *J. Rock. Mech. Geotech. Eng.*, vol. 6, s. 227-239. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.04.003>

Bieniawski, Z., 1989. *Engineering rock mass classifications*. New York, Wiley.

Barton, N., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.*, 4, s.189-239.

Hoek, E., 2007. *Practical Rock Engineering*, Rocscience Inc.

Tüysüz, O., Can, Ş.C., 2013, *Polyak Eyzef (Elmadere) Linyit Sahası Jeolojisi*

Inci, U. (1998) 'Lignite and carbonate deposition in middle lignite succession of the Soma formation, Soma coal field, Western Turkey', *Int J Coal Geology*, Vol. 37, pp.287-313.

Singh, B., Goel, R. K., 2011. *Engineering rock mass classification : tunneling, foundations, and landslides*, ABD, Elsevier.

Hoek, E., Brown, E. T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 34(8), s.1165-1186.

Tzamos, S., Sofianos, A.I., 2007. A correlation of four rock mass classification systems through their fabric indices. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 44 477-495

Palmstrom, A., 2009: Combining the RMR, Q, and RMi classification systems. [www.rockmass.net](http://www.rockmass.net), 25p.

# Granitoyitlerin Bazı Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi -Türkiye-Gümüşhane Örneği

*The investigation of some physical properties of granitoids: case study from Gümüşhane, Turkey*

G. Külekçi, A. O. Yılmaz

*Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Trabzon*

**ÖZET** Dünya mermerciliğinde hem üretim hacmi hem de çeşitlilik açısından ülkemiz önemli bir konumdadır. Gelişen mermercilik sanayisi ülke ekonomisine büyük bir katma değer ve istihdam olanağı yaratmaktadır. Bu araştırmanın esas konusunu oluşturan “Gümüşhane Granitleri” nin fiziksel özelliklerini inceleyen çok fazla bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada Gümüşhane çevresinde geniş bir yayılım gösteren erken Karbonifer yaşlı Gümüşhane Granitoyidi’nin bazı fiziksel özellikleri TS 699’a göre incelenmiştir. Söz konusu granitlerden, örnekler alınarak fiziksel özelliklerden; kuru ve doymun birim hacim ağırlık, porozite, atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme, boşluk oranı ve Sertlik derecesi (Schmidt Çekici) parametreleri belirlenmiş ve tek eksenli basınç dayanımı sonuçları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu deneyler sonucunda Gümüşhane granitlerinin fiziksel özellikleri ortaya konulmuştur.

Çalışma sonucunda bulunan sonuçlar TS 1910’a göre yapılarda kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliği açısından değerlendirilmiş ve Gümüşhane granitinin, kaplama malzemesi olarak kullanılabilmesi için sınır değerlerde olduğu görülmüştür.

**ABSTRACT** Our country has the significant position in terms of the production volume and variety in the world marble industry. The developing marble industry has provided a large added value and the opportunity of employment. There are no many studies examined the physical properties of Gümüşhane granite constituted the main subject of this research. In this study, some physical properties of Gümüşhane granitoid having early Carboniferous age and spread widely around Gümüşhane have been investigated regarding TS 699. The granite samples were collected, the physical parameters such as dry and saturated unit volume weight, porosity, water absorption by weight under atmospheric pressure, void ratio and Schmidt hammer hardness test were determined and the results of uniaxial compressive strength were tried to predict from these parameters. As a result of these experiments, the physical properties of Gümüşhane granites were presented.

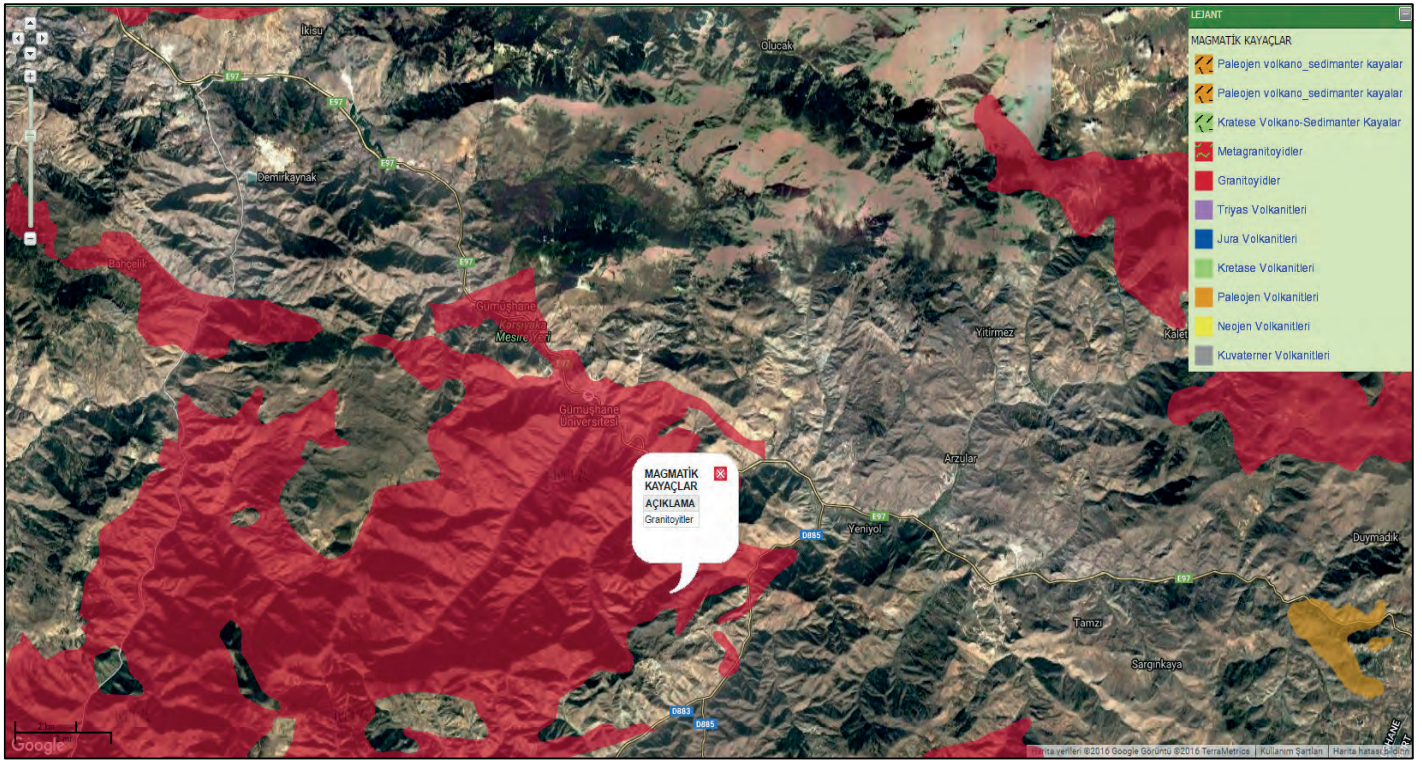
In the result of study, the results obtained were evaluated the usability of these materials such as paving material in constructions and it was seen that these materials are suitable.

## 1. GİRİŞ

Gümüşhane ve yakın yöresinde yer alan granitik kayaçlar topluluğunu bir çok araştırmacı Gümüşhane graniti olarak adlandırmıştır (Erguvanlı (1951), Ketin (1951), Baykal (1952), Çoğulu (1975), Yılmaz (1972), Yılmaz (1992) Gümüşhane Granitleri batıda Gümüşhane-Mescitli, güneyde Köse Dağları ve Kelkit ile doğuda Vavuk Dağı-Hadrâk arasında geniş alanlarda yüzlek veren granitik kayaçlar topluluğudur (Yılmaz (1972)). Bu granit yapısı başlıca büyük bir granit kütlesi ve bu kütle

değişik fasiyeslerindeki (granodiyorit, kuvarslı mikrodiorit ve dasit) ürünlerinden oluşan mutlak yaşı 298- 338 Milyon yıl olduğu düşünülen bir birimdir (Çoğulu (1970)). Gümüşhane çevresi temel kayaçları Hersinyen temel veya Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Graniti ve Pulur Metamorfite'lerinden oluşur (Bektaş ve diğ. 1995).

Gümüşhane merkezinin büyük bir çoğunluğunu magmatik kökenli bir kayaç olan Gümüşhane graniti oluştururken çok küçük alanlar kapsayan metamorfite'lerde bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1 Gümüşhane ili magmatik kayaç dağılımı

Granit doğal taşlar sınıfında yer almaktadır. Kullanım yerleri, işlevleri, boyutları, yüzey şekilleri ve genel dış görünümleri bakımından, yapı taşı, kırma taş, dekoratif taş ve süs taşı gibi sınıflara ayrılmıştır. Doğal taşlar grubunda mermerden sonra ikinci önemli doğal taş granittir. Çeşitli tonlarında renklere sahip olan granitler, genellikle dış kaplama ve yer döşemesinde kullanılmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe kullanılan granit, iyi cila alma, renk

çekiciliği ve sağlamlığı sayesinde aynı zamanda figür işlemeciliğinde de kullanılmaktadır (Çapik 2009).

Bu çalışmada, Gümüşhane granitlerinin ticaret sektöründe kullanılabilmesi için bazı fiziksel özellikleri belirlenmiş ve kullanım alanları tespit edilmiştir.

İnceleme alanı, Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan Gümüşhane İli'nin Merkezinde bulunan granit yapısıdır (Şekil 2).



Sekil 2. Çalışma alanına ait yer buldur haritası.

## 2. Malzeme ve Yöntem

Günümüzde mermer, granit gibi doğal taşların kullanılabilirliğine karar verilmesi için analizler ve bazı deneyler aracılığı ile fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreler göz önünde bulundurularak kullanım yeri belirlenebilmektedir.

Gümüşhane Granitinin mermer olarak kullanılabilirliği ve ne ölçüde kullanılabileceğini belirlemek için Gümüşhane ilinin merkezinde 7 farklı noktasından, magmatik kökenli granitlerden örnekler alınmıştır. Alınan bu örnekler deneysel çalışmalar yapmak üzere Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarına getirilmiştir. Burada deneyler için kaya bloklarından laboratuvar tipi sondaj makinesi kullanılarak çıkarılan karot örnekleri ve kaya bloklarından taş kesme makinesi ile kesilen kübik örnekler standartlara uygun olarak hazırlanmıştır.

## 3. Deneysel alışmalar

Hazırlanan malzemenin bazı fiziksel (kuru ve doğgun birim hacim ağırlık, porozite, atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme, boşluk oranı ve Sertlik derecesi (Schmidt çekici))  zellikleri TS 699'a göre belirlenmiştir. Deney sonuçları TSE standart değerlerine göre değerlendirilmiştir.

### 3.1. Kuru ve Doğgun Birim Hacim Ağırlık

Kaya numunelerinin kuru birim hacim ağırlığı ve doğgun birim hacim ağırlığı olmak üzere iki farklı birim hacim ağırlıkları vardır. Gümüşhane ilinin 7 farklı noktasından alınan numunelerin doğgun birim hacim ağırlık deneyleri; getirilen numunelerin taş kesme makinesinde 7\*7\*7 cm boyutlarında kesilerek oluşturulmuş küp numuneler üzerinde yapılmıştır. K p şeklindeki numuneler içerisinde 20 C° ± 5 C° sıcaklıkta su bulunan bir kap içerisine su ile örtülecek şekilde, en az 24 saat süre ile bırakılmıştır. Bu şekilde, Arşimet terazisi ile su içinde yapılacak tartım sırasında su emerek sonuçları etkilemeyecek derecede doğgun hale getirilmiş bulunan deney numuneleri sudan çıkarılarak Arşimet terazisinde su içinde 0,1 gr hassasiyetle tartılmıştır.

Tartılan numuneler üzerindeki su damlaları, nemli bir bez veya süngerler yardımı ile alınarak 0,1 gr hassasiyetli bir terazi yardımı ile tartılmıştır. Deney numuneleri bundan sonra değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulur ve tartılarak kurutulmuş doğgun birim hacim ağırlığı bulunur. Bulunan bu değerler 1.bağıntı yardımı ile hesaplanarak doğgun birim hacim ağırlığı bulunmuştur (şekil 3).

$$d_h = G_d / (G_d - G_{ds}) \text{ (gr/cm}^3\text{)} \text{-----1}$$

Burada;

$d_h$  = Doygun birim hacim ağırlığı (gr/cm<sup>3</sup>),  
 $G_d$  = Doygun haldeki deney numunesinin havadaki kütlesi (gr),  
 $G_{ds}$  = Doygun haldeki deney numunesinin su içindeki kütlesi (gr).

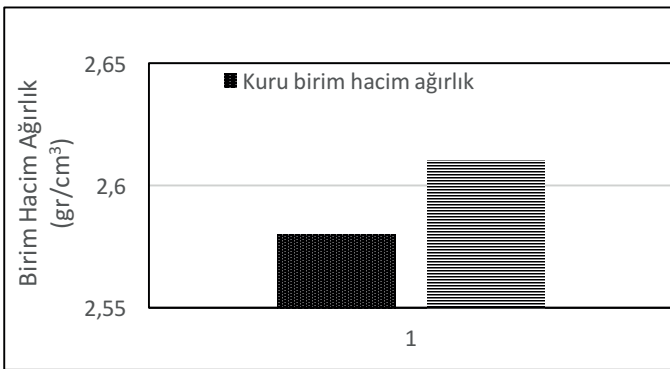
Kuru birim hacim ağırlığı ise; küp şeklinde hazırlanmış numunelerin kütsel (gözenekler dahil) birim hacim ağırlığının tayini amacıyla yapılmıştır. Deney örneklerinin doğal ağırlıkları tartıldıktan sonra 105°C'ye ayarlanmış fırında en az 24 saat kurutulduktan sonra tekrar tartılmıştır. Bulunan sonuçlar 2 numaralı eşitlikte yerine konularak her bir örnek için ayrı ayrı birim hacim ağırlığı belirlenmiştir (Şekil 3).

$$D_h = G_k / (G_{dh} - G_{ds}) \text{ (gr/cm}^3\text{)} \text{-----2}$$

Formülü ile hesaplanır.

Burada;

$D_h$  = Kuru birim hacim ağırlığı (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $G_k$  = Değişmez kütleye kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (gr)  
 $G_{dh}$  = Doygun haldeki deney numunesinin havadaki kütlesi (gr)  
 $G_{ds}$  = Doygun haldeki deney numunesinin su içerisindeki kütlesi (gr)



Şekil 3. Ortalama birim hacim ağırlık deney sonuçları

### 3.2. Porozite

Kayaçların dayanımlarını ve kullanım alanlarını etkileyen önemli fiziksel özelliklerden biride porozitedir. Kayaç

gözenekliliği kalitesi porozite terimi ile tanımlanır. Kayaç içindeki boşluklar gözle görülemeyecek kadar küçük olabilmektedir ve büyük bir kısmı birbirine bağlı ve bu gözenekler hava ile de irtibatlıdır. Kayaç içindeki gözenek ya da boşlukların varlığı, kayacın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Çatlak sistemi içindeki gözeneklerin çok küçük bir miktarı, kayacın deformasyonu üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir.

Porozite ne kadar büyürse mermerin ekonomikliği o derece azalır. Çünkü atmosfer etkilerine mukavemet özelliği olan dayanıklılığı porozitenin artmasıyla azalmaktadır. Bu durum ise tercih edilmez. İyi kaliteli mermerin porozitesi %0.0002-%0.5 arasındadır (Çapık 2009).

Ayrıca birçok derinlik kayaçlarında çeşitli sebeplerle bozunma olmadığı sürece porozite %1-2 mertebesinde. Bu oran çevre şartları ile ilerledikçe % 20'lere veya daha büyük değerlere ulaşabilir. Sonuç olarak böyle kayaçlarda porozitenin ölçülmesi kayaç kalitesi için sağlıklı bir indeks özelliği olarak değerlendirilebilir. Bozunmamış kayaçlarda genellikle porozite ile serbest basınç dayanımı ve elastisite modülü arasında iyi bir ilişki vardır (Teymen, 2005).

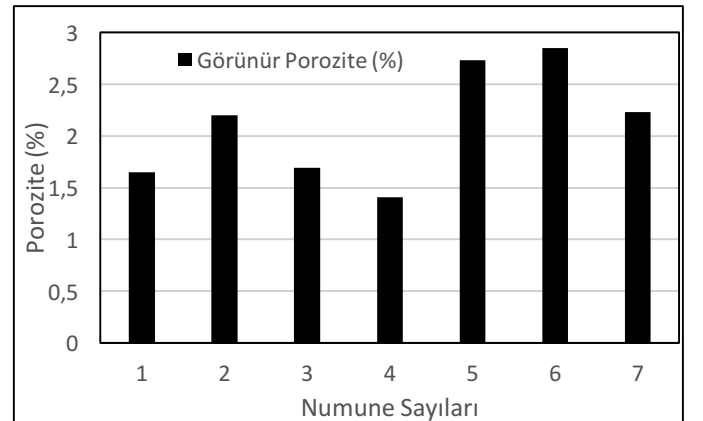
Görünen porozite TS 699 'a göre aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Şekil 4).

$$P = (1 - d_h / d_o) \times 100$$

$$P = (1 - k) \times 100 \text{-----3}$$

Burada;

$P$  = Taşın porozitesi (%)  
 $d_h$  = Taşın hacim kütlesi (g/cm<sup>3</sup>)  
 $d_o$  = Taşın özgül kütlesi (g/cm<sup>3</sup>)  
 $k$  =  $d_h / d_o$  (doluluk oranı)



Şekil 4. Görünür porozite deney sonuçları



Gümüşhane Granitlerinin ortalama porozitesinin %2.11 olduğu görülmüştür. Bulunan sonuçlar Tarhan (1989) sınıflamasına göre kayaların proziteye göre sınıflandırılması incelendiğinde, granitlerinin %2,11 ile “az boşluklu” kaya sınıfında yer aldığı görülmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Kayaların poroziteye göre sınıflandırılması (Tarhan 1989)

Kaya sınıfı	Porozite %
Çok Kompakt	<1
<b>Az Boşluklu</b>	<b>1-2,5</b>
Orta Boşluklu	2,5-5
Oldukça Boşluklu	5-10
Çok Boşluklu	10-15
Çok Fazla Boşluklu	>20

### 3.3. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Oranı

Doğal taşlarda binaların dış kaplaması için su emme oranı ne kadar az olursa o kadar idealdir. Doğal taşlarda su emmenin az veya çok oluşu diğer fiziksel özellikleri etkilemektedir. Kayaçlarda su emme miktarının hesabı, kütlece ve hacimce yapılmaktadır.

Bu deney, numunelerin ağırlıklarına oranla boşlukların alabileceği su miktarının saptanması amacıyla yapılmaktadır.

Düzgün şekilli deney numunelerinin boyutları ölçülerek hacmi bulunur daha sonra tartılarak  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta su bulunan uygun büyüklükte ve derinlikte bir kap içerisine, en az 24 saat süreyle bekletilir.

Bu süre içerisinde kaptaki su yüksekliğinin deney numunelerinin üzerini yaklaşık 1,5- 2 cm örtecek seviyede olması sağlanmalı ve deney numuneleri üzerinde oluşacak hava kabarcıkları uygun bir yöntemle giderilmelidir. Deneyin başlangıcından itibaren 24 saat sonunda sudan çıkarılan deney numuneleri, nemli bez veya sünger ile silinerek üzerindeki su damlaları alındıktan sonra, bekletilmeksizin 0,1 gr hassasiyetle tartılır.

Tartım işleminden sonra deney numuneleri değişmez kütleye gelinceye

kadar  $105^{\circ}\text{C}$  kurutularak 0,1 gr hassasiyetle tartılarak son kütle bulunur. Su emme oranları aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanır (Çizelge 2).

$$S_k = \frac{((G_d - G_k) / G_k) \times 100}{4}$$

$$S_h = \frac{((G_d - G_k) / (G_d - G_{ds})) \times 100}{5}$$

Formülde;

$S_k$ : Örneğin kütlece su emme oranı (%)

$S_h$ : Örneğin hacimce su emme oranı

$G_d$ : Örneğin doymun haldeki kütlesi

$G_k$ : Değişmez kütleye kadar kurutulmuş örneğin kütlesi (g)

$G_{ds}$ : Doymun haldeki örneğin su içindeki kütlesi (g)

Çizelge 2. Su Emme Oranı Deney Sonuçları

Örnek No	Ağır S.E %	Hacim S.E %
1	0.55	2,23
2	0.85	2,20
3	1.10	2,83
4	1.15	2.40
5	0.56	2,25
6	0.84	1,40
7	0.54	2.15
<b>Ort.</b>	<b>0.80</b>	<b>2,21</b>

### 3.4. Sertlik Derecesi

Sertlik derecesi deneyi kolay uygulanabilir, ekonomik ve hızlı bir deney yöntemi olan Schmidt çekici yöntemi ile yapılmaktadır. Esasen betonun sertliğini, ölçme işlemlerinde kullanılan bu yöntem Bilgin (1989) tarafından kayaçlara da tatbik edilmiştir. Kayaçların sertlik derecesinin bilinmesi veya ölçülebilmesi o kayaca dıştan gelebilecek herhangi bir mekanik etkiye karşı gösterdiği direncin tahmin edilebilmesine olanak sağlar.

Schmidt çekici ölçümlerinin değişik standartları mevcuttur; bu standartlardan ASTM, (2001), yönteminde numune üzerine Schmidt çekici ile on farklı noktaya tek vuruş yapıp, bu vuruşların ortalaması alınarak ortalamanın 7 birim altındaki ve üstündeki değerler iptal edilir ve geriye kalanların ortalaması Schmidt sertlik değeri olarak alınır. ISRM, (1981), yönteminde ise numune üzerine Schmidt çekici ile 20 farklı noktaya tek vuruş yapılarak, en büyük 10

vuruş değerinin ortalaması alınır. Bu yöntemler kullanılarak bulunan değerlerden çeşitli ampirik formüller yardımı ile tek eksenli basınç dayanım sonuçları tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Basınç dayanımını tahmin etmek için geliştirilen ampirik bağıntılardan bazıları çizelge 3 de verilmiştir.

Çizelge 3. Tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için geliştirilen ampirik bağıntılar (Teymen, 2005)

Geliştirilmiş Bağıntı	Bağıntıyı Geliştiren
$\sigma_b = 6.9 \times 10^{[1.348 \log (R_{nx\gamma}) - 1.325]}$	Aufmunth 1973, L-tipi
$\sigma_b = 6.9 \times 10^{[0.16 + 0.0087 (R_{nx\gamma})]}$	Deere ve Miller 1966, L-tipi

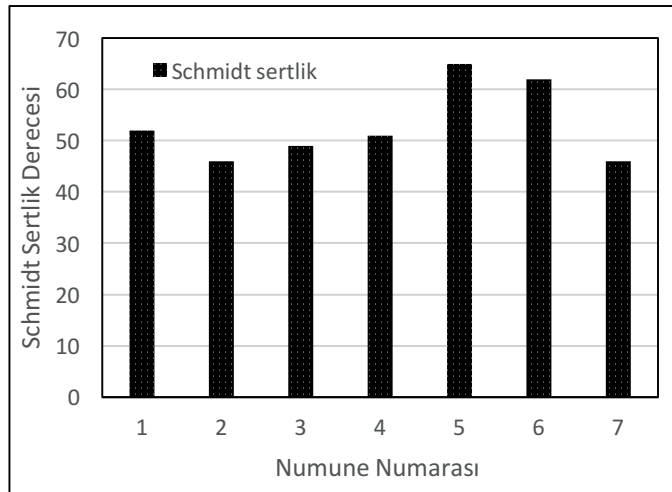
Burada;

$\sigma_b$  : Basınç dayanımı (MPa),

$R_n$  : Schmidt indeksi,

$\gamma$ : Kayaç yoğunluğu ( $gr/cm^3$ ).

Bu çalışmada sertlik ölçümünde ISRM standartları kullanılmıştır (Şekil 4), ölçüm sonuçlarına bakıldığında sertlik derecesi ortalama 53 olarak bulunmuştur.



Şekil 4. Schmidt çekici deney sonuçları

Çizelge 3’de verilen bağıntılara göre tahmin edilen. TEBD değerleri de Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Schmidt çekici geri tepme sayısına göre tahmin edilen. TEBD değerleri

Bağıntı Adı	Gümüşhane granitini ortalama geri tepme sayısı	TEBD değerleri
Aufmunth 1973		251.076
Deere ve Miller 1966	53	159.338

Ortalama Schmidt sertlik değeri ve Brown, 1981’e göre kaya sertliği sınıflandırılması çizelge 5 de verilmiştir.

Çizelge 5. Schmidt çekici geri tepme sayısına göre kaya sertliği sınıflandırılması (Brown, 1981)

Kaya sınıfı	Schmidt Çekici geri tepme sayısı	Gümüşhane granitini ortalama geri tepme sayısı
Yumuşak	0-10	
Az yumuşak	10-20	
Az sert	20-40	
Sert	40-50	
<b>Oldukça sert</b>	<b>50-60</b>	<b>53</b>
Çok sert	>60	

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada “Gümüşhane Granitleri” nin fiziksel özelliklerini incelenmiştir. Söz konusu granitlerden, örnekler alınarak fiziksel özelliklerden bazı parametreleri belirlenmiş ve tek eksenli basınç dayanımı sonuçları tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Gümüşhane Granitlerinden alınan kaya numunelerinin kuru ve doygun birim hacim ağırlığı olmak üzere iki farklı birim hacim ağırlık belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda granitlerin kuru birim hacim ağırlığı  $2,58 gr/cm^3$ , doygun birim hacim ağırlığı  $2,61 gr/cm^3$  bulunmuştur. 7 farklı bölgeden alınan numuneler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda granitlerin ortalama görünür porozitesi %2,11 olarak bulunurken

granitlerin ağırlıkça su emme oranı %0,80 olarak bulunmuştur. Schmidt çekici geri tepme sayısı 53 olarak bulunmuş literatürdeki çalışmalardan ve kaynaklardan alına formüller yardımı ile TEBD hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Gümüşhane Granitlerinin TEBD'nininin 150 ile 250 MPa arasında olduğu ve buna göre kaya sertliği sınıflandırılması açısından oldukça sert sınıfına girdiği görülmüştür.

Yapılarda kaplama malzemesi olarak kullanılabilmesi için ASTM (C 503) standartlarında mermer için basınç dayanımı 52 MPa iken, TSE'de basınç dayanımında kaplama olarak kullanılacak mermerin (TS 10449) için 49 MPa, olarak belirlenmiştir. Bu TEBD açısından Gümüşhane granitleri bina kaplamasında kullanılabilecek durumdadır.

Bulunan bu sonuçlar TS 1910'a göre yapılarda kaplama malzemesi olarak kullanılabilirliği açısından değerlendirildiğinde, doğal taşların kaplama malzemesi olarak kullanılabilmesi için doğal taşın birim hacim ağırlığı en az  $2.55 \text{ gr/cm}^3$  gözenekliliğinin % 2'yi aşmaması ve atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme oranı % 0,75'den az olmalıdır. Gümüşhane Granitlerinin değerlerine bakıldığında; birim hacim ağırlığı  $2,58 \text{ gr/cm}^3$  gözenekliliği %2,11 olduğu bu değerlerin verilen standartlardaki sınır değerlere çok yakın olduğu bu nedenle dış yüzey kaplaması olarak kullanılabilirliğinin ekonomik boyutta analiz edilmesi gerektiği görülmektedir.

Su emme oranı açısından bazı standartlarda farklılıklar bulunmaktadır; TS 2513'e göre doğal yapı taşlarında ağırlıkça su emme oranı % 1,8 den büyük olmamalıdır. TS 10449'a göre mermerlerin atmosfer basıncında kütlece su emmesi % 0,4'den küçük olmalıdır . TS 6234'e göre granitlerin kütle su emme oranı max % 0,75 olmalıdır.

Yapılan çalışma sonucunda Granitlerin su emme oranı TS 2513, TS 1910 ve TS 6234'de gösterilen sınırların altında olduğu ve TS 10499'da ise sınır değeri içinde olduğu görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- ASTM, 2001. Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method, ASTM Stand. 04.09 (D 5873-00).
- Baykal E., 1952. Kelkit-Şiran bölgesinde jeolojik araştırmalar, *M T A Rapor* No. 2205 Ankara.
- Bektaş O. ve Yılmaz C., 1995. Doğu pontid yay gerisi havzasında derin yayılma çukurlarının oluşumu (kd türkiye): neo-tetisin pasif kıta kenarı evrimi, *KTÜ, Jeoloji Müh. Bölümü 30. Yıl sempozyumu*, bildiriler, Trabzon, 263-274.
- Bilgin N., 1989. İnşaat ve Maden Mühendisleri için Uygulamalı Kazı Mekanığı, Birsen Yayınevi, 192 sayfa, İstanbul.
- Brown, E. T., 1981, "Suggested Methods of Rock Characterization Testing and Monitoring",
- Çapık M. ve Yılmaz A. O., Harşit (Giresun) Granitlerinin Fiziko Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 5, No: 2, 2009 (17-32)
- Çoğulu E., 1970. Gümüşhane ve Rize Plütonlarının mukayeseli petrolojik ve jeokronolojik etüdü. Doç. Tezi, İTÜ Maden Fak., İstanbul.
- Çoğulu E., 1975. Gümüşhane ve Rize Granitik Plütonların Mukayeseli Petrojeolojik ve Jeokronometrik Etüdü, Doçentlik Tezi, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul,, (Yayınlanmamış)
- Erguvanlı K., 1951. Trabzon-Gümüşhane arasının jeolojisine Ait Rapor, *M.T.A. Raporu*, No. 1926, Ankara
- ISRM, 1981. Rock Characterisation, Testing and Monitoring. Editor; E. T. Brown, Pergamon Pres. International Society for Rock Mechanics, Portugal, s. 53
- Ketin L., 1951. Bayburt Bölgesinin Jeolojisi, *İ.Ü. Fen Fakültesi Mecmuası*, Cilt 16, İstanbul.
- Tarhan, F., 1989, "Mühendislik Jeolojisi Prensipleri", K.T.Ü. Basımevi, Trabzon
- Teymen A., 2005. Bazı kayaçların petrografik, fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilklerin incelenmesi Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü , Adana
- TS 699/ Ocak, 1987. Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları.
- TSE 2004, "Mermer-Kalsiyum Karbonat Esaslı-Yapı ve Kaplama Tası Olarak Kullanılan Tadil 1", TS 10449/T1, Ankara
- TSE, 1977, "Kaplama Olarak Kullanılan Dogal Taslar", TS 1910 UDK 691.215, Ankara
- Yılmaz C., 1992. Kelkit (Gümüşhane) yöresinin Stratigrafisi, *Jeoloji Mühendisliği dergisi*. 40, 50-62,
- Yılmaz Y., 1972. Petrology and structure of the Gümüşhane: Granite and the surrounding rocks., N.E. Anatolia : Ph., D. thesis, Univ. of London, 266 s. (yayınlanmamış)

# Sedimanter Kayaçlar için Laboratuvarında Bilgisayar Kontrollü Döner Delik Delme Deney Aleti ile Spesifik Delme Enerjisinin Değerlendirilmesi

## *Evaluation of Specific Drilling Energy with Computer Controlled Rotary Drilling Rig for Sedimentary Rocks*

U. Sakız, H. Aydın, O. Yaralı, H. Duru

*Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

**ÖZET** Bu çalışmanın amacı, kayaçlarda delinebilirliğin belirlenmesinde kullanılan önemli parametrelerden biri olan spesifik delme enerjisinin (SDE) ölçülmesi ve değiştirilebilir makine parametrelerin SDE üzerine olan etkilerinin belirlenmesidir. Bu amaçla, üzerinden veri alınabilecek enstrümanlarla donatılmış laboratuvar ölçekli döner delik delme düzeneği tasarlanmıştır. Bu araştırmada, Zonguldak bölgesine ait sedimanter kökenli beş farklı kayaç türü üzerinde elmas uçlu karotiyerler ile üç farklı dönme hızı ve dört farklı baskı koşulunda delik delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Her kayaç için SDE değerleri, tasarlanan delik delme düzeneğinden alınan tork, güç, dönme ve ilerleme hızı verilerinin literatürde kabul görmüş olan bazı ampirik bağıntılarda kullanılmasıyla hesaplanarak bulunmuştur. Böylelikle, farklı makine çalışma parametreleri (baskı, dönme hızı) göz önüne alınarak, SDE'deki değişim incelenmiştir. Buna göre, baskı yükünün ve dönme hızının artmasının ilerleme hızı arttırdığı ve buna bağlı olarak SDE'nin azaldığı saptanmıştır. İncelenen kayaçlar için ilerleme hızının 1m/saat'den büyük olduğu durumlarda (baskı 70 kg, dönme hızı 470 dev/dk) SDE en az olduğu değerlere ulaştığı bulunmuştur.

**ABSTRACT** The objective of this paper is to measure the specific drilling energy (SDE), one of the most important parameters used in determining the drillability of rocks, and to determine the effects of machine parameters on SDE. For this purpose, a laboratory scale rotary drilling rig with data acquisition is designed. In this study, five different types of sedimentary rocks from Zonguldak region were drilled with diamond drill core bits at three different rotational speeds and four different thrust conditions. The SDE values for each rock type were calculated by using some empirical formulas that were accepted in the literature by employing torque, power, rotation speed and rate of penetration data from the designed drilling rig. Thus, the change in the SDE was examined, considering different machine operating parameters (thrust, rotational speed). Accordingly, it has been found that the higher rotational speed and the heavier thrust load would result the higher rate of penetration and the lower SDE. The results of this study indicates that minimum SDE has been achieved with the penetration rate of 1m/h (70kg thrust, 470 rpm) or greater.

## 1 GİRİŞ

Madencilik ve inşaat mühendisliği faaliyetlerinde, su, petrol ya da doğal gaz gibi doğal kaynakların belirlenmesinde, çıkarılmasında ve zemin etüdü araştırmalarında, baraj gibi inşaat çalışmalarında kazı sistemlerinin kullanılması önemli yer tutmaktadır. Mekanize kazı araçlarından beklenen yararları ulaşabilmek için, bu araçların kazılacak olan kayaçların özelliklerine uygun olarak seçilmeleri büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, mekanik kazı makinelerinin seçilmesinden önce, gerekli olan spesifik delme enerjisi (SDE) ile keski tüketimi miktarına bağlı olan kazı performansının önceden doğru bir şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir. Kazı makinesinin doğru belirlenmemesi, makine ile kazı veya delme uygulamalarından elde edilecek avantajların ortadan kalkmasına ve dolayısı ile proje maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Son yıllarda mekanize kazı sistemlerinde ki gelişmeler paralelinde klasik kazı yöntemi olarak eskiden beri kabul gören ve önemli bir kullanım alanına sahip delme – patlatma uygulamalarında elektro – hidrolik deliciler ve jumbolardan yararlanılmaktadır.

Kayaç delinebilirliği üzerine etki eden faktörler, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olmak üzere araştırmacılar tarafından başlıca iki gruba ayrılmaktadır (Şekil 1). Kontrol edilebilen faktörleri; delici ucun tipi ve çapı, darbe miktarı, dönüş hızı gibi makinaya bağlı olan değişkenler oluştururken, kontrol edilemeyen faktörleri ise kayaç özelliklerine bağlı parametreler oluşturmaktadır (Yaralı ve Kahraman 2011, Su 2016). Bu nedenle, ilk yatırım maliyetleri çok yüksek olan ve çoğunlukla ithal edilen kazı makinalarının seçiminde kayaç kütle ve malzeme özelliklerinin doğrudan etkili olduğu göz önünde bulundurulmalıdır (Hoseinie vd. 2008). Kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörlerin yanında, iş organizasyonunun

kayaçların delinebilirlik çalışmalarına olumlu ya da olumsuz nasıl bir katkı sağlayacağına göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Delinebilirlik üzerine çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar incelendiğinde, ilerleme hızı ve SDE değerlerinin en önemli iki parametre olarak ele alındığı görülmektedir.

Bu bildiriye, sedimanter kökenli kayaçlar üzerinde tasarlanmış laboratuvar ölçekli döner delik delme deney aleti kullanılarak delme parametrelerinin SDE üzerine olan etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, Zonguldak bölgesinden alınan 5 farklı sedimanter kökenli kayaç türü üzerinde 4 farklı baskı (50, 70, 90 ve 110 kg) ve 3 farklı dönme hızı (210, 330 ve 470 dev/dk) koşulunda delme deneyleri yapılmıştır. Her bir kayaç için SDE değerleri, tasarlanan delik delme düzeneğinden alınan tork, güç, dönme hızı ve ilerleme hızı verileri kullanılarak ampirik bağıntılardan yararlanarak hesaplama yoluyla bulunmuştur.

## 2. DELİK DELME SİSTEMLERİ

Kazı aşamaları genel olarak delme – patlatma (klasik kazı) yöntemi ve mekanize kazı sistemlerinden yararlanılarak yapılmaktadır. Özellikle mekanize kazının mümkün olmadığı madencilik ve tünel açma çalışmalarında, delme – patlatma yöntemi ekonomik ve çok kullanışlı olması bakımından öne çıkmaktadır. Günümüzde, farklı kayaç koşulları için değişik tipte delme teknikleri geliştirilmiştir. Bugün, kullanılmakta olan delme teknikleri:

- Rötari (Döner) delik delme,
- Darbeli delik delme,
  - Üstten darbeli delik delme
  - Alttan darbeli delik delme
- Rötari – darbeli delik delme'dir.



Şekil 1. Delinebilirliği etkileyen faktörler (Thuro ve Spaun 1996'dan değiştirilerek)

## 2.1 Döner (Rötari) Delik Delme

Rötari delik delme yöntemi; madencilik, inşaat, petrol ve doğal gaz çalışmalarında en çok kullanılan delme yöntemidir (Bilgin ve Kahraman 2003, Franca 2011). Delme işleminin gerçekleşmesi için uygulanan baskı ve tork kuvvetlerinin kayaç dayanımını yenebilecek seviyede olması gerekmektedir (Şekil 2). Döner delik delme yöntemi bir ya da birkaç kesme işleminin kombinasyonunu içeren üç boyutlu bir kesme operasyonudur. Bu kapsamda farklı araştırmacılar tarafından yöntem; delik oluşturma (Miller ve Ball 1990, 1991; Rowlands 1975), kesme ve parçalama (Paone ve Bruce 1963) ve kazıma, girinti oluşturma ve kesme (Chugh 1992) şeklinde tanımlanmaktadır (Bhatnagar vd. 2011).

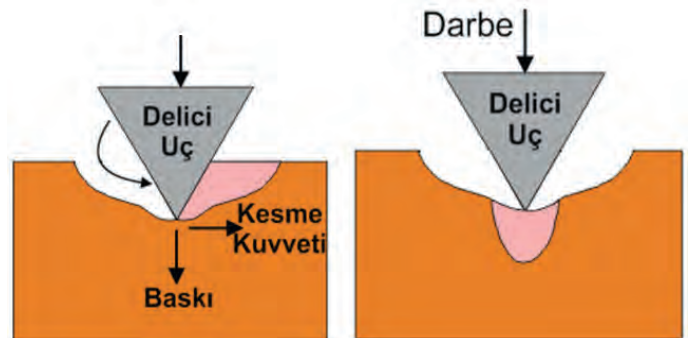
## 2.2 Darbeli Delik Delme

Yöntem kaya yapılarının dayanımının dinamik darbe enerjisi ile yenilmesi esasına dayanmaktadır. Bu delme yönteminde kayaç yüzeyine gönderilen dinamik darbe enerjisi ile kayaçtan parçacıklar koparılmaktadır. Darbeli delik delme uygulamasının performansı büyük ölçüde darbe gücü,

besleme kuvveti, delici uç dönme hızı ve üflemeyle bağlıdır. Kayaçtan koparılan parçaların boyutu kayaçın mekanik özelliklerinin yanında delici ucun özellikleriyle de yakından ilgilidir. Darbeli delmede delme gücü hidrolik veya pnömatik olarak sağlanmaktadır. Darbeli delik delme yöntemi üstten ve alttan (delik dibi) delme olmak üzere iki türlü yapılmaktadır

## 2.3 Döner Darbeli Delme

Rötari darbeli delik delme, özellikle sert kayaçların delme-patlatma yöntemiyle kazılması aşamalarında göstermiş olduğu yüksek performans ile tünel ve yeraltı madenciliğinde herkes tarafından kabul görmüş bir uygulama metodu olarak kullanılmaktadır (Thuro 1997).



Şekil 2. Döner ve darbeli delme (Han et. al 2005).

### 3. SPESİFİK ENERJİ

Spesifik enerji, kayacın iç bağlarını yenip, parçalanma oluşturan enerji ile kazı çeşidine göre kesme arasında diğer enerji harcamaları toplamının göstergesi olarak tanımlanmaktadır. Her farklı kayaç için kazı çeşidi ve keski türüne göre değiştiğinden fiziksel bir özelliği olarak değerlendirilemez. Ancak farklı kayaçlar benzer şartlarda kazıldığında elde edilen “Spesifik Enerji (SE)” değerleri kayaçların kazılabilirliğinin bir ölçütü olarak karşımıza çıkmaktadır. Kazı şekli sabit tutulduğunda spesifik enerji sadece kayaç özelliklerinin bir fonksiyonu olacağı açıktır (Kel 2003). Kesme ve delme işlemleri sırasında harcanan spesifik enerji değerleri, metre başına ilerleme maliyetleri ile doğrudan ilişkili olup, belirli bir hacim koparmak için gereken enerji miktarını vermektedir (Atıcı ve Ersoy 2009).

Spesifik enerjinin belirlenmesi amacıyla; büyük ve küçük ölçekli kazı setleri, görgül (ampirik) yaklaşımlar, arazide gerçek bir makine kullanılarak yapılan çalışmalar olmak üzere pek çok yöntemden yararlanılmaktadır. Birim zamanda kayacı delmek için harcanan güç olarak tanımlanan SDE'nin verimli bir şekilde gerçekleşmesi için SDE değerlerinin düşük olması beklenmektedir. Literatürde SDE belirlenmesi üzerine yapılan öne çıkmış çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Teale (1965) delicilerden yola çıkarak spesifik enerji ile ilgili olarak ilk ciddi çalışmaları yürütmüş ve spesifik enerjiyi kayaçtan bir parça koparmak için harcanan enerji olarak tanımlamış ve Eşitlik 1'i önermiştir.

$$SDE = \frac{F}{A} + \frac{2\pi}{A} * \frac{NT}{PR} \quad (1)$$

Burada; F darbe, A delik yüzey alanı, N dönme hızı, T tork ve PR ilerleme hızıdır. Teale (1965) ilerleme hızı, dönme hızı ve delme çapının bilinmesi durumunda yukarıdaki eşitlik ile spesifik enerjinin doğru

bir şekilde belirlenebileceğini ortaya koymuştur.

Rabia (1982, 1985) döner deliciler için spesifik enerji için Eşitlik 2 önermiştir.

$$SDE = 2.35 * \frac{WOB * RPM}{d * PR} \quad (2)$$

Burada; WOB bit üzerindeki optimum ağırlık, RPM dönme hızı, d delik çapı ve PR ilerleme hızı olarak tanımlanmıştır.

Wang (1995), Huang ve Wang (1997) kayaç örnekleri üzerinde elmaslı karot matkapları ile delinebilirlik çalışmaları yürütmüşlerdir. Yürüttükleri çalışma kapsamında, laboratuvar koşullarında matkap tezgahını yeniden tasarımılandırarak uygun hale getirmişlerdir. Delik delme esnasında; ilerleme hızı, uygulanan tork, uç üzerindeki ağırlık ve dönme hızının etkisini incelemişlerdir. Delik delme işlemi sırasında spesifik enerjinin belirlenmesi için Eşitlik 3' ten yararlanmışlardır.

$$SDE = \frac{8TN}{(Dh^2 - Dc^2)PR} \quad (3)$$

Burada; T uygulanan tork, N dönme hızı, Dh ve Dc sırasıyla delinen deliğin iç ve dış çapı (Şekil 4.24), PR ise ilerleme hızıdır. Bu çalışmalarda, delici uç üzerinde ağırlığın arttırılmasıyla uygulanan tork ve ilerleme oranı exponansiyel olarak artış göstermiştir. Ancak delici uç üzerindeki ağırlığın artışına bağlı olarak spesifik enerji değerleri düşmüştür.

Mellor (1972) ve Hughes (1972); kayacın kesilmesi ya da koparılmasına yönelik çalışmalarda spesifik enerji değerleri ile kayacın tek eksenli basınç dayanımı arasında ilişki kurmuşlardır. Ancak bu çalışmalarda kayacın yüklenmeye başladığı an ile yenilmesi arasındaki koşulları göz önünde bulundurmışlardır (Eşitlik 4).

$$SE = \frac{\sigma^2}{2E} \quad (4)$$

Burada;  $\sigma_c$  tek eksenli basınç dayanımı, E elastik modülüdür.

Bilim (2007) Spesifik enerjiyi; birim zamanda (h) kazılan malzeme miktarı ( $m^3$ ) ve bu hacimdeki malzemenin kazılmasında harcanan güçten (kW) yola çıkarak belirlemiştir (Eşitlik 5).

$$SE = \frac{P}{NKH} (kwh/m^3) \quad (5)$$

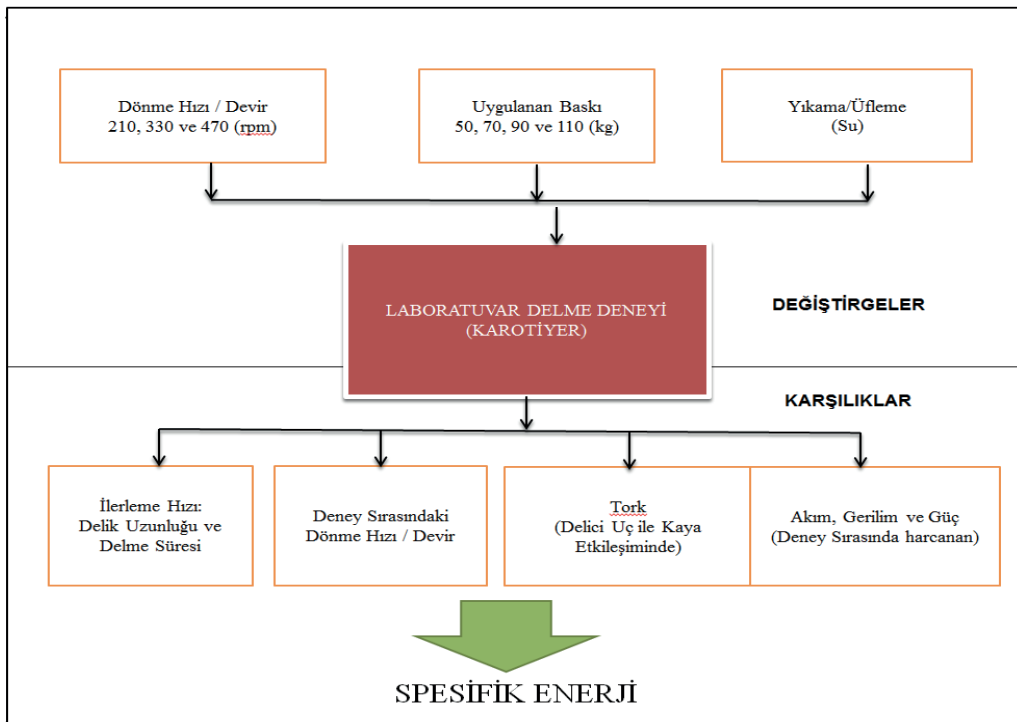
Burada; NKH kesici makinanın net kazı hızı ve P ise makinanın harcadığı güçtür.

#### 4.DENEY ALETİNİN TANITIMI

Delik delme uygulamalarında; ilerleme hızı, baskı kuvveti, tork ve dönme hızı en önemli parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. Delme işleminin gerçekleşmesi için uygulanan baskı ve tork kuvvetlerinin kayaç dayanımını yenebilecek seviyede olması önem taşımaktadır. Bir delme işlemi sırasında gerekli olan SDE'nin en düşük olması için bu parametrelerin her bir kayaç için ayrı ayrı tanımlanması gerekmektedir.

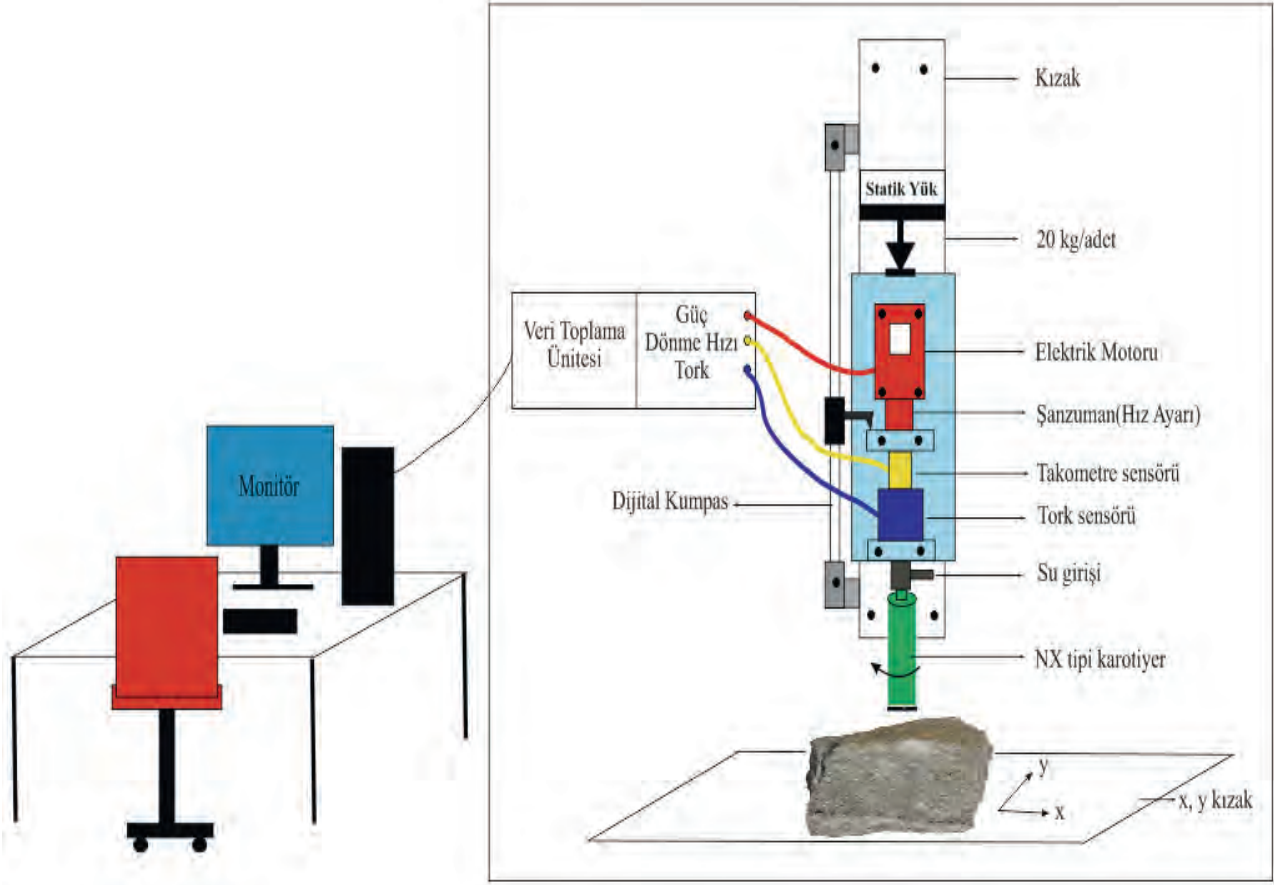
Yapılan literatür araştırması ve gözlemler baz alınarak kayaç üzerinde döner delik delmesi işlemi sırasında, SDE'nin laboratuvar koşullarında belirlenmesi amacıyla pratik ve kullanışlı bir laboratuvar ölçekli ve bilgisayar kontrollü delme deney seti tasarlanmıştır. Tasarlanan deney aletinde dönme hızı ile baskı kuvveti değiştirilebilir parametreler olarak ayarlanmıştır. Bunun dışında, deney aletinden dönme hızı, tork, akım, gerilim ve güç değerleri ölçülmektedir (Şekil 3.) Laboratuvar ölçekli döner delik delme deney düzeneği Şekil 4'te gösterilmiştir. Ölçülen bu değerler veri dosyası olarak kaydedilmekte ve kaydedilen dosyalar Microsoft Excel programı içinde açılarak her bir deney için alınan anlık veriler değerlendirilmektedir. Verilerin değerlendirilme aşamasında, makinanın boşa çalışması sırasında elde edilen değerler kayacın delinmesi sırasında alınan değerlerden çıkarılmakta ve böylece net delme işlemi için gereken değerler kullanılmaktadır.

İlerleme hızı (PR) parametresi ise, delinen deliğin uzunluğunun kumpas ile ölçülmesi ve kaydedilen delme süresine oranlanması ile ayrı olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3 Araştırmada kullanılan parametrelerin detaylı gösterimi





Şekil 4 Laboratuvar ölçekli döner delik delme deney aleti

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında, Zonguldak havzasında sıkça karşılaşılan beş farklı tür sedimanter kayaç göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda araziden alınan kireçtaşı, kumtaşı, konglomera, siltaşı ve kuvarslı kumtaşı örnekleri üzerinde laboratuvar ölçekli döner delik delme deney seti kullanılarak spesifik delme deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 1’de gösterilmiştir.

## 6. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma kapsamında kayaçların delinebilirliklerinin belirlenmesi amacıyla delme sırasında gereken enerjinin bir göstergesi olarak SDE kullanılmıştır. SDE’nin belirlenmesi amacıyla 5 kayaç türü üzerinde 4 farklı baskı yükü (50, 70, 90 ve 110 kg) ve 3 farklı dönme hızı (210, 330 ve

470 dev/dk) koşulunda delme deneyleri yapılmıştır. Bu aşamada baskı yükü, delme deney setinin kayaç üzerine etki eden kendi ağırlığı olan 30 kg’lık bir yükün üzerine eklenen 20 kg/adet ağırlıklar ile sağlanmaktadır. devir. Böylece delme parametrelerinin spesifik delme enerjisi üzerindeki etkisi irdelenmiştir. SDE, her kayaç için ayrı ayrı incelenmiş ve değişkenler arası ilişkileri göstermek için grafikler oluşturulmuştur. SDE ve değişen makina çalışma parametreleri arasındaki ilişkileri irdellemek için SDE hesaplamasında Teale (1965) tarafından önerilen Eşitlik 1 kullanılmıştır.

İncelenen kayaçlar için 4 farklı baskı kuvveti ile spesifik delme enerjisi arasındaki ilişki Şekil 5’de gösterilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde, baskı kuvvetindeki artışa bağlı olarak SDE’nin azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 1. Farklı kayaçlarda SDE ve İlerleme Hızının Makina Parametrelerine Göre Ortalama Değişimi

Kayaç Adı	Ağırlık (kg)	PR (m/h)			SE (Mj/m <sup>3</sup> )		
		210 Devir	330 Devir	470 Devir	210 Devir	330 Devir	470 Devir
Kireçtaşı	70	0,183	0,240	0,214	60143	26984	70427
	90	0,514	0,822	0,218	29933	28186	87861
	110	0,564	0,818	0,545	35122	29881	43849
Kuarslı Kumtaşı	50	0,006	0,005	0,121	552809	988524	185866
	70	0,015	0,008	0,137	372665	671337	60236
	90	0,028	0,067	0,190	150726	78602	37390
	110	0,049	0,076	0,333	83133	63340	24709
Konglomera	50	0,173	0,370	0,019	80982	244145	498388
	70	0,253	0,303	0,058	174410	127433	237243
	90	0,289	0,423	0,150	27061	50571	74601
	110	0,276	0,544	0,249	30633	39578	52251
Kumtaşı	50	0,259	0,518	0,496	20046	19779	21569
	70	0,402	0,657	1,016	15326	19073	13458
	90	0,598	0,672	1,068	8801	17643	16592
	110	0,674	1,555	1,659	10710	6843	12054
Silttaşı	50	0,881	0,913	0,750	6717	9310	9900
	70	1,143	1,437	1,029	5343	7089	10498
	90	1,246	1,657	1,638	10022	9176	10099
	110	1,511	1,608	2,078	10158	11428	8249

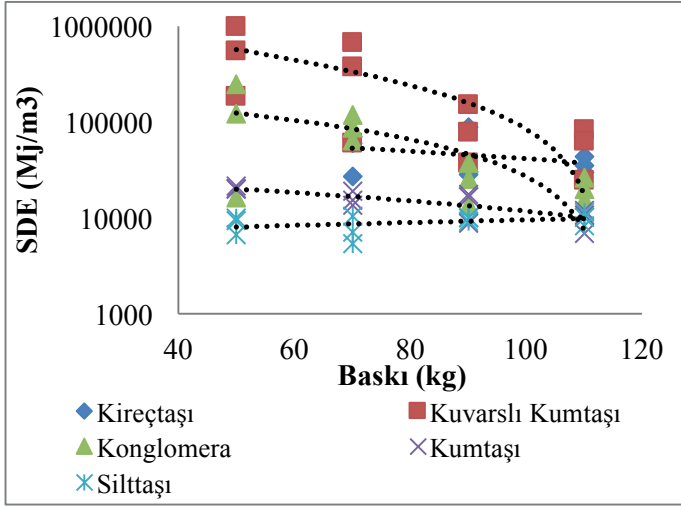
Yapılan delme deneylerinde 2 farklı makine parametresinin (baskı ve devir) delme verimi üzerindeki etkisi her kayaç türü için ayrı ayrı Şekil 5 ve 6'da sunulmuştur. Şekil 5 göz önüne alındığında, 3 farklı dönme devri koşulunda baskının SDE üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan incelemelerde genel olarak farklı kayaç türleri için baskıdaki artışa bağlı olarak SDE'nin azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 6'da verilen grafikte ise SDE ve Devir sayısı arasında bariz bir ilişki gözlemlenmemiştir.

Tüm kayaç koşulları için ilerleme hızının SDE üzerindeki etkisi Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu amaçla spesifik delme enerjisi belirlenmesi amacıyla dikkate alınan Eşitliklerin tamamı göz önünde bulundurulmuş ve grafik çizilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde delinebilirlik üzerine literatürde önemli yeri olan Eşitlik 1, 2 ve 5 birlikte değerlendirildiğinde, azalan bir

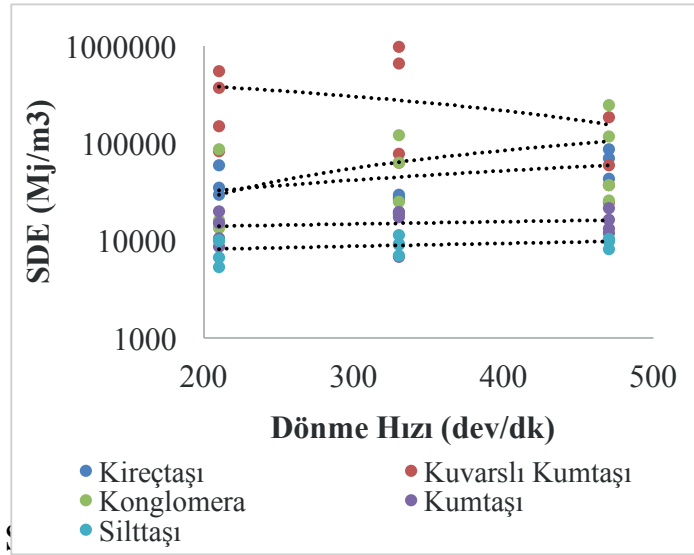
eğilim gözlemlenmektedir. Her iki koşul birlikte göz önüne alındığında ilerleme hızının belirli bir değere kadar artmasıyla spesifik delme enerjisinin bir noktada sabitlendiği görülmektedir. Böylece, delme işlemi için gereken optimum koşulların sağlanması için tüm kayaç türlerinde ilerleme hızını 1 m/h'ten büyük olmasını sağlayan makina parametrelerini seçilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

## 7. SONUÇLAR

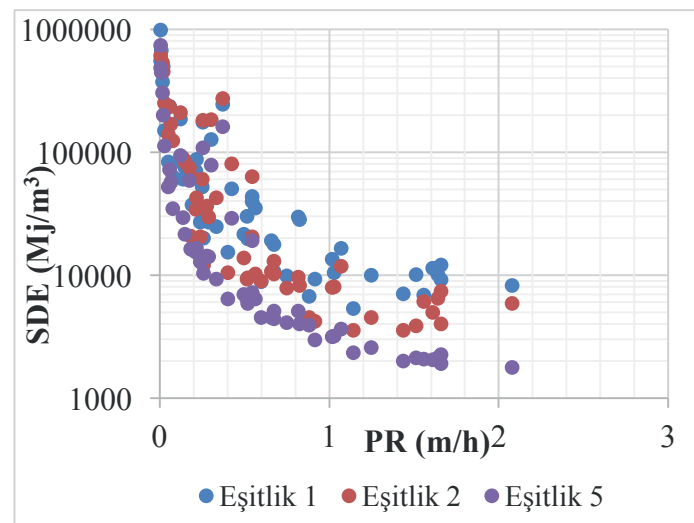
Çeşitli delme parametrelerinin (baskı, dönme hızı, dönme torku, güç ve ilerleme hızı) laboratuvar ölçekli dönerek delik delme deney aleti kullanılarak yapılan deneylerde üç farklı dönme hızı ve dört farklı baskı koşulunda delik delme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Baskı ile spesifik delme enerjisi arasındaki ilişki



enerjisi arasındaki ilişki.



Şekil 7 İlerleme hızı ile spesifik delme enerjisi arasındaki ilişki

Bu kapsamda, makinarya bağlı parametreler incelendiğinde,

- Deney kapsamındaki tüm kayaç türleri için delme parametreleri (dönme hızı, baskı vb) incelendiğinde delici uç üzerindeki baskı delik delme işlemini etkileyen en önemli parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Tüm kayaç türleri göz önünde bulundurulduğunda yüksek baskı değerlerinde tork artmakta ancak spesifik enerji değeri azalmaktadır.
- Dönme hızı ve delici uç üzerindeki baskı arttırıldıkça daha yüksek ilerleme hızı değerleri elde edilebilmektedir.
- İlerleme hızı değerleri ve tork, baskı yükü ile artmakta ancak bu durum kayaç özellikleri ve dönme hızına bağlı olarak değişim gösterebilmektedir.
- Dönme hızının ise daha çok kayaç içerisinde yapılan ilerleme hızını etkilediği gözlemlenmiştir..
- SDE değerinin makinadaki aşırı zorlanmaya bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bu durum aşırı güç kaybına ve delici ucun sıkışmasına neden olmakta ve delme esnasında ilerleme hızı ve SDE'de artışa neden olmaktadır.
- Deyney kapsamında kullanılan kayaç grubu için optimum SDE'nin 1m/h ilerleme hızı sonrasında gözlemlendiği, bu performansı sağlamak içinde makina baskı yükünün 70 kg dönme hızının 470 dev/dak ayarında olması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak, madencilik, inşaat vb. faaliyetlerinin yürütüldüğü yerüstü ve yeraltı yapılarında, kazı işleminin daha verimli ve ekonomik bir şekilde gerçekleşmesi için mekanize kazı sistemlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle, mekanik kazı

makinelerinin seçilmesinden önce, gerekli olan delme enerjisi bağlı olan kazı performansının önceden doğru bir şekilde tahmin edilmesi oldukça önemli olmakta ve bunun olması için de spesifik delme enerjisi ile kayaç özellikleri ve makine parametreleri arasındaki ilişkinin iyice incelenmiş olması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

Atıcı, Ü, Ersoy, A, 2009, Correlation of specific energy of cutting saws and drilling bits with rock brittleness and destruction energy, *Journal of Materials Processing Technology*, 209:2602 – 2612.

Bhatnagar, A, Khandelwal, M, Rao, K, 2011. Laboratory investigations for the role of flushing media in diamond drilling of marble, *Rock Mech. and Rock Eng.*, 44:349 -356.

Bilgin, N, Kahraman, S, 2003. Drillability prediction in rotary blast hole drilling. *International Mining Congress Exhibition of Turkey*, IMCET 2003, 2003, ISBN 975-395-605-3

Bilim, N, 2007. Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında Kazı Makinalarının Performanslarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 153 s.

Chugh, C, 1992. High technology in drilling and exploration. Oxford and IBH, India

Franca, L, 2011. A bit – rock interaction model for rotary – percussive drilling. *Int. J. of Rock Mech. and Mining Sci.* 48:827-835.

Han, G, Bruno, M, Dusseault, M, 2005. Dynamically modelling rock failure in percussion drilling, The 40th US Symposium on Rock Mechanics (USRMS).

Hoseini, S, Aghababaei, H, Pourrahimian, Y, 2008. Development of a new classification system for assessing of rock mass drillability index (RD<sub>i</sub>), *Int. J. of Rock Mech. and Mining Sci.* 45:1-10.

Huang, S, Wang, W 1997. The mechanics of diamond core drilling of rocks. *Int. J. of Rock Mech. and Mining Sci.* 34:3-4.

Hughes, H, 1972. Some aspects of rock machining, *Int. J. of Rock Mechanics & Min. Sci.*, 9: 205-211

Kel, K, 2003. Zonguldak Havzası Kömür Çevre Kayaçlarının Kazılabilirliğinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Müh. Anabilim Dalı, Zonguldak, 181 s

Miller, D, Ball, A, 1990. Rock drilling with impregnated diamond micro bits—an experimental study. *Int J Rock Mech Min Sci* 27:363–371

Mellor, M, 1972. Normalization of spesific energy values, *Int. J. of Rock Mech. & Min. Sci.*, 9 : 661-663.

Paone, J, Bruce, W, 1963. Drillability studies—diamond drilling. RIUSBM 6324, US Bureau of Mines

Rabia, H, 1982. Specific energy as a criterion for drilling performance prediction”, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 19 : 39-42.

Rabia, H, 1985. A unified prediction model for percussive and rotary drilling. *Min Sci Technol*, 2 : 207–16.

Rowlands, D, 1975. Rock fracture by diamond drilling. *Ph.D. Thesis*, University of Melbourne, Australia

Su, O, 2016. Performance evaluation of buttons bits in coal measure rocks by using multiple regression analyses. *Rock Mech. And Rock Eng.*, DOI 10.1007/s00603-015-0749-3, 49(2):541-553.

Teale, R, 1965. The concept of specific energy in rock drilling. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 2 : 57-71

Thuro, K, 1997. Prediction of drillability in hard rock tunneling by drilling and blasting. *Tunnels for People*, Hinkel and Schubert (eds), Balkema, Rotterdam, ISBN:9054108681, pp. 103 – 108.

Thuro, K, Spaun, G, 1996. Introducing the ‘detruction work’ as a to new rock property of toughness refering to drillability in conventional drill and blast tunnelling. ed. M. Barla, *Eurock’96 Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Enginnering*, 2 : 707-13.

Wang, W, 1995. The Mechanics of Diamond Core Drilling of Rocks. *Ph. D. Thesis*, University of Alaska, 225 p.

Yaralı, O, Kahraman, S, 2011. The drillability assessment of rocks using the different brittleness values. *Tunneling and Underground Space Tech.* 26: 406 – 414.

# Kayaçlarda Geri Sıçrama Mekanizmalı Sertlik Ölçme Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Equotip Sertlik Ölçerle Delme Hızının Tahmini

## *Comparison of Rebound Mechanism Hardness Testing Methods on Rocks and Prediction of Drilling Rate by Equotip Hardness Device*

O. Su

*Bülent Ecevit Üniversitesi, ZMYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Zonguldak*

**ÖZET** Kaya kütleleri içerisinde yapılan kazılarda kayacın delinebilirlik ve kazılabilirlik özellikleri önemli rol oynar. Kaya kütlelerindeki süreksizlikler, faylar ve eklemler kazı yöntemini etkiler. Bu nedenle gerek delme patlatma ve gerekse mekanize yöntemlerle açılacak tünellerde formasyona uygun bir delici (veya kazıcı) makine ve uç seçiminin yapılması gereklidir. Bu amaçla kayaçların delinebilirliği, sertliği ve diğer fiziko-mekanik özelliklerinin tespit edilmesi gerekir.

Bu çalışmada, tünel ve galerilerde delik delen jumbo delicilerin delme hızları ölçülmüştür. Kazı yapılan formasyonda Schmidt çekici ile arının sertliği belirlenmiştir. Daha sonra araziden alınan blok örneklerin geri sıçrama mekanizmalı olan Shore ve Equotip sertlikleri ile delinebilirlik özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak Equotip sertlik ölçümlerinin diğer geri sıçrama mekanizmalı sertlik ölçerler ile olan ilişkisi incelenmiş ve delinebilirliğin (delme hızının) önceden tahmin edilmesinde uygulanabilirliği araştırılmıştır.

**ABSTRACT** Drillability and cuttability of rocks play an important role on the excavations performed within the rock masses. The discontinuities, faults and cleats basically influence the excavation method. For this reason, an appropriate type of rock drill and rock bit should be selected for the tunnels opened by either drill and blast or mechanical methods. In this respect, drillability of rocks, hardness, and other physico-mechanical properties should be determined.

In this study, the penetration rate of jumbo drills in tunnels and mine roadways were measured. The hardness of the face of excavated formation were determined by using a Schmidt hammer. Later, the Shore and Equotip hardness, which are based on rebound mechanism, and drillability properties of block samples collected from field was examined. As a result, the relationships between Equotip hardness index and other rebound mechanism hardness devices were investigated and the applicability of Equotip hardness index test for the prediction of rock drillability (penetration rate) was studied.

## 1 GİRİŞ

Madencilikte yeraltında cevhere ulaşmak için yapılan hazırlık işleri kapsamında olan galeri, lağım ve taban yolu ilerlemeleri önemli yer tutmaktadır. Üretim işlerinin aksamaması için hazırlıklarda ilerleme hızlarının yüksek olması istenir. Delme

patlatma yöntemi ile yapılan kazılarda hızlı delik delme olanağı sağlamasından dolayı jumbo deliciler büyük önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra taş ocaklarında ve açık işletmelerde genellikle bu delicilerden faydalanılır. Yumuşak kayaçta döner, sert kayaçta is döner darbeli deliciler tercih edilir.

Benzer durum karayolu, demiryolu veya derivasyon tünellerin açılması için de geçerlidir. En kısa zaman diliminde, ekonomik ve yüksek ilerleme hızlarında tünelin açılması ve bir an önce kullanıma sunulması hedeflenir. Bu bağlamda yine delik delme işlerinin tasarımı ve deliciler büyük rol oynamaktadır.

Çok yüksek maliyetlerin söz konusu olduğu tüm bu işlerde kayacın delinebilirliğinin iyi bir şekilde belirlenmesi ve buna göre ekipman seçiminin ve iş organizasyonunun yapılması gerekir.

Delinebilirlik bir ucun kayaca batma hızı (m/dk) olarak tanımlanır. Kayaçların karakteristik özellikleri delinebilirlik üzerinde farklı etkiler sergiler. Bunlardan bazıları; kayacın sertliği, tanecik boyutu, aşındırıcılığı, süreksizlik düzlemleri, homojenliği ve katılığıdır (Tamrock 1978). Tüm bu parametreler kazı yöntemi seçimin de de etkilidir.

Bu çalışmada kayacın sertliğini belirlemede kullanılan bazı geri sıçrama mekanizmalı yöntemlerin delme hızı veya delinebilirliği üzerine etkisi incelenmiştir.

## 2 SERTLİK ÖLÇME YÖNTEMLERİ

Kazı makinaların günlük ilerleme hızları ve uç tüketim değerleri makinaların performans değerlendirmesinde oldukça önemlidir. Bu amaçla kayaç örneklerinin laboratuvarında ince kesitleri alınır ve taneciklerin çimentolanma derecesi ile mineral dağılımları incelenir. Bu bağlamda özellikle kuvars mineralinin yüzde oranının çok büyük etkisi vardır. Ayrıca kayacın sertliğinin belirlenir.

Sertliğin ölçülmesinde kullanılan başlıca yöntemler; batma deneyleri (Brinell, Rockwell C, Vickers, Knoop), geri sıçrama mekanizmalı sertlik deneyleri (Shore, Schmidt, Equotip) ile çizme sertlik deneyleri (Mohs) dir (ISRM 1978).

Batma deneylerinde bir ucun kayacın yapısına bağlı olarak batma mesafesi veya batma süresi dikkate alınır.

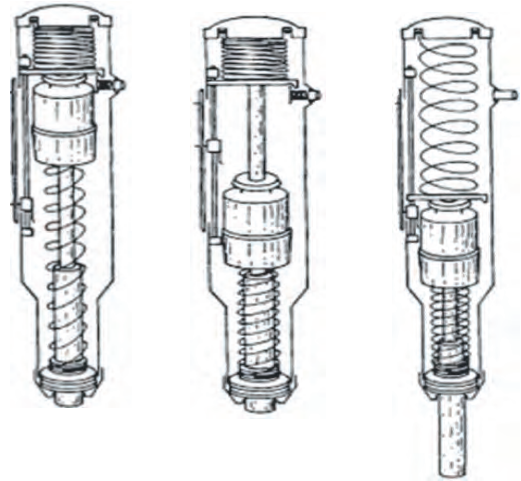
Çizme deneylerinde malzeme yüzeyi sert bir cisimle çizilir. Bu bağlamda Mohs sertlik indeksi kayaçların çizilmeye karşı

dirençlerini ölçmede kullanılan bir yöntemdir.

Geri sıçrama mekanizmalı sertlik deneylerinde ise deney aletinin içerisine yerleştirilen sert bir uç ve ucun hareketini sağlayan bir yay vasıtasıyla ucun geri sıçrama mesafesi veya hızı ölçülür. Arazide kayacın yerindeki dayanımını tespit etmek üzere Schmidt çekici uygulanırken, laboratuvar koşullarında daha çok Shore sertlik indeksinden yararlanılır. Ayrıca Equotip sertlik indeksinin uygulaması da yaygınlaşmaktadır.

### 2.1 Schmidt Sertlik İndeksi

Schmidt sertlik çekici ilk olarak 1948 yılında beton sertliğini ölçmek için geliştirilse de daha sonraları kayaçların dayanımını tahmin etmek için uygulanmaya başlamıştır (Katz vd. 2000). Portatif bir cihaz olması nedeni ile arazide kayaçların dayanımının dolaylı tahmini için kolaylıkla kullanılmakta ve tercih edilmektedir. Test aleti bir yay tarafından kayaç yüzeyine doğru itilen ağırlığın belirli bir darbe enerjisi ile çelik pistonu çarptırılması ve pistonun enerjiyi kayaya transfer ettikten sonra kayacın sertliğine bağlı olarak geri sıçrama mesafesinin ölçülmesine dayanır. (Şek. 1) bu mesafe (yada geri sıçrama yüksekliği) da kaya yüzeyine belirli bir darbe enerjisi uygular ve çarpma sonrası pistonun geri sıçrama mesafesi Schmidt değeri olarak kabul edilir.



Şekil 1. Schmidt çekici ile ölçüm öncesi ve sonrası yay ve piston davranışı (Aydın 2009).

Schmidt çekicinin özellikle kaya ve kazı mekaniği alanında yaygın bir kullanım alanı vardır. Kayaçların aşınma derecesi, basınç ve deformasyon özelliklerinin dolaylı tahmin edilmesi, bazı kazı makinalarının performans tayini, delik delme makinalarının ilerleme hızları tahmin edilmektedir.

L ve N tip olmak üzere iki türü vardır. L tipi çekicin darbe (çarpma) enerjisi düşük olup kaya 0,74 Nm'dir. ISRM bu çekicin daha çok NX (54 mm) boyutlarından daha büyük karot örnekleri üzerinde uygulanması gerektiğini önermektedir. N tip çekiç ise standart bir darbe enerjisi uygular ve 2,207 Nm'dir. Arazi çalışmalarında ve beton blokların dayanımının belirlenmesinde uygulaması daha yaygın olmakla birlikte ISRM en az 80 MPa dayanıma sahip ve 84 mm'den büyük karot örnekleri üzerinde kullanılmasını önermektedir. Bilgin vd. (2002) darbeli kırıcıların kaya parçalama süresi ile Schmidt değerleri arasındaki ilişkileri incelemişler ve bazı modeller önermişlerdir. Kahraman vd. (2002) dokuz farklı kayaç türünden laboratuvarında hazırlanan karot numuneleri üzerinde kayacın yerindeki dayanımını tahmin etmeye çalışmışlardır. Ozkan ve Bilim (2008) kömür üretilen bir ayakta Schmidt çekici ile yapılacak ölçüm sayısının belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Sharma vd. (2011) kayacın darbe dayanım indeksi, suda dayanım indeksi ve P dalga hızı ile olan ilişkilerini incelemişlerdir. Tumac (2015) büyük çaplı dairesel testerelerin Schmidt çekici ve diğer kayaç özelliklerinden yararlanarak bazı karbonatlı kayaçların performans tahminini yapmıştır.

## 2.2 Shore Sertlik İndeksi

Shore sertlik indeksi kayacın sertliğinin belirlenmesinde uygulanan basit ve ucuz bir deney yöntemidir. C veya D model olmak üzere iki tür Shore skeloroskobu vardır. C modelde çapı 5,94 mm ve ağırlığı 2,79 gr olan uç kullanılırken, D modelde 7,94 mm çapında ve 36,2 gr ağırlığında elmas uç kullanılır (ASTM 2012). Deney yöntemi; elmas uçlu çekicin belirli bir yükseklikten serbest olarak düşürülmesi ve numune

yüzeyine çarptıktan sonra geri sıçrama yüksekliğinin ölçülmesi esasına dayanır (Şek. 2). Tek eksenli basınç dayanımı testinde kullanılan numunelerden çok daha küçük boyutlu numuneler üzerinde deneyin yürütülebilirliği en büyük avantajıdır (Holmgeirsdottir ve Thomas 1998). Deney sonucunda kayacın basınç dayanımı dolaylı olarak tahmin edilebilmektedir.



Şekil 2. Shore skeloroskobu.

Shore sertlik indeksi deneyi Altındağ ve Guney (2006) tarafından 80 cm<sup>3</sup>'lük numuneler üzerinde yürütülmesi önerilmiş ve böylece standart hale getirilmiştir.

Shore sertliğinden yararlanarak kayaçların çeşitli özelliklerini belirlemek üzere geliştirilmiş ampirik bağıntılar da bulunmaktadır (Szlavin 1974, Arthur 1996, Koncagül 1999, Altındağ 2002, Yasar ve Erdogan 2004, Yurdakul ve Akdaş 2012, Klawitter vd. 2015).

## 2.3 Equotip Sertlik İndeksi

Equotip sertlik ölçer metaller için geliştirilmiş olan taşınabilir bir test cihazıdır. Shore skeloroskobunun üretimini azalması nedeniyle madencilik ve inşaat sektörlerinde uygulaması artmaktadır. Cihaz C, D, DC, DL, E, G ve S tip olarak sınıflandırılır. Aralarındaki temel farklar uç genişliği ve uygulanan darbe enerjisidir. Şekil 3'de 3 mm çapındaki tungsten karbür uça sahip D tip sertlik ölçer görülmektedir.

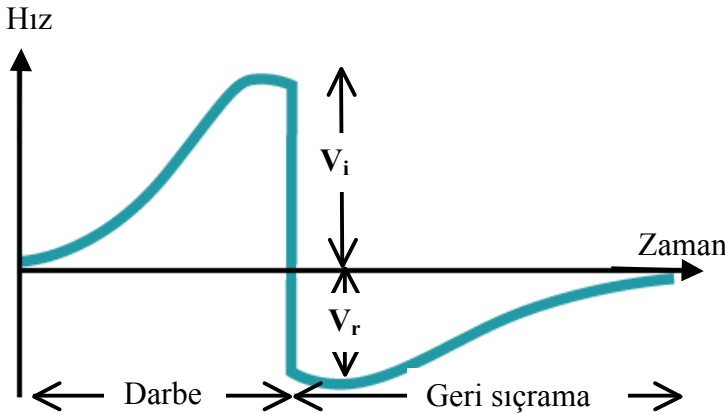


Şekil 3. Equotip sertlik ölçer.

Deney yöntemine göre D tip Equotip sertlik ölçer, içerisinde bulunan yay mekanizması ile kayaç yüzeyine 0,011 Nm'lik darbe uygular. Kayaç yüzeyinde oluşan deformasyona bağlı olarak darbe enerjisinin bir kısmı kayaç tarafından absorbe edilir. Ucun geri sıçrama hızının ( $V_r$ ) darbe hızına ( $V_i$ ) oranından Equotip sertlik değeri hesaplanır (Eşitlik 1).

$$HL = \frac{V_r}{V_i} \quad (1)$$

Deney aleti yumuşak kayaçlarda düşük, sert kayaçlarda ise yüksek hız değerlerine ulaşır. Ancak hızın bir kısmı kayaç yüzeyinde çarptığı anda azaldığından tekrar ilk hızına ulaşamaz. Zamana bağlı olarak oluşturulan hız-zaman grafiği Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Equotip sertliği hız-zaman grafiği (Proceq 2013).

Deney aleti genellikle kayaçların tek eksenli basınç ve yerindeki dayanımı tahmin etmek amaçlı olarak literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Verwaal ve Mulder 1993, Meulenkamp ve Grima 1999, Kawasaki vd. 2002, Hack ve Huisman 2002, Aoki ve Matsukura 2007).

### 3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada öncelikli olarak Zonguldak Taşkömürü Havzasında (ZTH) açılmış olan karayolu tünellerinde çalışan ve TTK'ya bağlı bazı müesseselerde çalışmakta olan jumbo delicilerin performansları incelenmiştir. Bunun yanı sıra herhangi bir delicinin çalışmadığı farklı kayaç türlerinden örnekler alınmıştır (Çiz. 1).

Çizelge 1. Ölçüm yapılan ve numune alınan yerler.

Kod	Kayaç türü	Lokasyon
S1	Kireçtaşı	Bartın karayolu
S2	Kumtaşı	Karadon, Zonguldak
S3	Kumtaşı	Üzülmez tüneli, Zong.
S4	Konglomera	Kozlu, Zonguldak
S5	Kireçtaşı	Mithatpaşa tün., Zong.
S6	Kiltaşı	Kazpınarı, Bartın
S7	Silttaşı	Aslankaya tün., Zong.
S8	Silttaşı	Balıkesir
S9	Kumtaşı	Balıkesir
S10	Mermer	Eflani, Karabük
S11	Kireçtaşı	Zonguldak karayolu
S12	Bej mermer	Çakraz, Bartın

#### 3.1 Arazi Çalışmaları

Jumbo delicilerin çalıştığı tünel ve galerilerde ilk olarak L tipi Schmidt çekici kullanılarak kayaçların yerinde dayanımı belirlenmiştir. Ölçümler tamamlandıktan sonra delicilerin ilerleme hızları ölçülmüştür. Arazi çalışmalarının yürütüldüğü tüm deliciler döner-darbeli tipte olup, hepsinde farklı çaplarda buton tip uçlar kullanılmıştır. Jumbo deliciler kesit genişliğine bağlı olarak aynada 50-100 arasında delik delmiştir. Delme sırasında kronometre ile her bir deliğin delme süresi ölçülmüştür. Aynı zamanda uç üzerinde uygulanan baskı, darbe, dönme ve su basıncı değerleri kayıt altına



alınmıştır. Delikler delindikten sonra teleskobikmetreyle delik boyları ölçülmüş ve Eşitlik 3'den delme (ilerleme) hızları hesaplanmıştır.

$$PR = \frac{L}{t} \quad (3)$$

Burada; L delik boyu (m), t süre (sn) dir.

Galerilerde ve tünellerde yapılan Schmidt çekici ölçüm değerleri ve jumbo delicilerin delme hızları Çizelge 2'de sunulmuştur

### 3.2 Laboratuvar Çalışmaları

Araziden alınan blok örneklerin bazıları delicilerin çalıştığı formasyonlardan alınırken, bazıları ise farklı bölgelerden temin edilmiştir. Laboratuvarda çeşitli deneyler için uygun boyutlarda kesilmiştir. Buna göre basınç dayanımı deneyleri için 54 \* 108 mm'lik karot numuneler hazırlanırken, sertlik ölçümleri için 27 \* 54 mm (Shore

indeksi) ve 54 \* 54 mm (Equotip indeksi) ebatlarındaki örnekler hazırlanmıştır.

Shore ve Equotip sertliği belirleme deneylerinde her bir kayaç türü için en az iki numune hazırlanmıştır. Kayaç yüzeylerinde en az 5 mm aralıklarla 15-20 okuma yapılmıştır. Yapılan okumaların aritmetik ortalamaları alınmış ve indeks değerleri olarak kabul edilmiştir. Equotip sertlik deneyi yapıldıktan sonra kayaç yüzeyi 3 boyutlu lazer tarayıcı ile incelenmiş ve D itip uç sert kayaçta 0,03-0,04 mm, yumuşak kayaçta ise 0,09-0,10 mm derinlikte bir oyuk açıldığı belirlenmiştir.

Sertlik deneylerinin yanı sıra laboratuvarda delme oranı indeksi (DRI) değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla öncelikle tüm örneklerin kırılgenlik ( $S_{20}$ ) değerleri, daha sonra SJ minyatür delme değerleri hesaplanmıştır. Her iki deney sonucu abak üzerinde değerlendirilerek tüm kayaçların delme oranı indeksi değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlar.

Kod	$\gamma$	DRI	PR	EQ	SH	SCH
S1	2.66	48	0.80	686	36.2	-
S2	2.61	48	1.38	595	31.3	44
S3	2.63	43	1.41	612	40.4	45
S4	2.48	53	1.63	610	32.0	41
S5	2.67	64	2.35	525	31.9	32
S6	2.62	64	2.75	449	18.6	29
S7	2.62	69	4.8	506	26.2	39
S8	2.37	47	-	577	30.8	-
S9	2.43	54	-	645	41.3	-
S10	2.65	55	-	635	44.3	-
S11	2.63	53	-	630	35.1	-
S12	2.68	51	-	650	34.0	-

Burada;  $\gamma$  kayacın yoğunluğu ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ), DRI delme oranı indeksi, PR ilerleme hızı (m/dk), EQ Equotip sertlik indeksi, SH Shore sertlik indeksi, SCH Schmidt sertlik indeksi 'dir.

### 4 İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME

Arazide yapılan ölçüm sonuçları ile laboratuvarda yapılan çalışmalar arasında istatistiksel açıdan bazı korelasyonların olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda öncelikle geri sıçrama mekanizması ile çalışan sertlik indeksleri arasında ilişki incelendiğinde

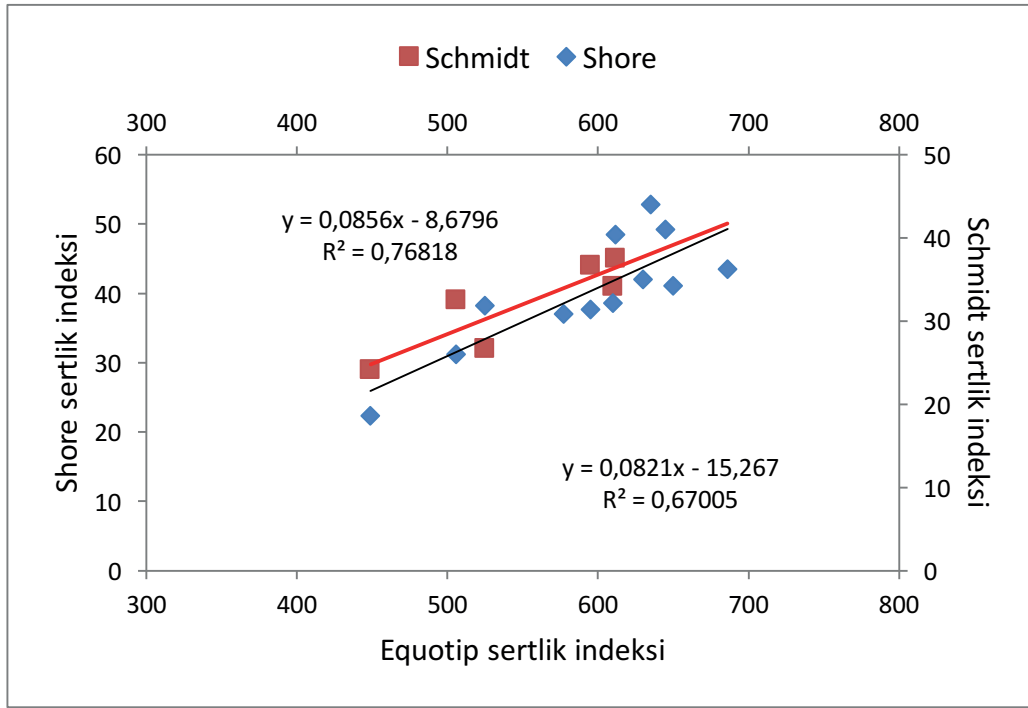
Equotip sertliği ile Shore sertlik arasında korelasyon katsayısının 0,82 olduğu doğrusal bir ilişkinin olduğu bulunmuştur (Şek. 5). Böylece Equotip sertlik indeksinin kayaçların sertliğinin belirlenmesinde kullanılabileceği tespit edilmiştir. Ancak, Equotip deney aletinde kullanılan ucun 3 mm çapında olması bazı kayaçlarda yanlış

sonuçların bulunmasına neden olmaktadır. Çünkü, 3 mm oldukça kısa bir mesafe olup, kayaç yüzeyindeki farklı minerallerin de sertliğinin ölçülmesine sebep olabilir. Bu nedenle kaya matrisinin petrografik analizlerle çok iyi bir şekilde tanımlanması ve buna göre kayacı oluşturan doğru mineral taneciklerinin sertliğinin ölçülmesi gerekir.

Diğer taraftan, Equotip sertliği ile Schmidt sertlik indeksi arasında da yine doğrusal bir ilişki olduğu bulunmuştur. Fakat elde edilen sonuçlar incelendiğinde Schmidt sertlik değerlerinin 30-45 arasında değiştiği, yani ISRM (1978) e göre az sert ve sert kayaların sertlik değerlerini yansıttığı görülmüştür. Bu aralık ölçüm sonuçlarını yorumlamak için çok yeterli değildir. Ayrıca veri sayısı da oldukça sınırlıdır. Dolayısı ile veri sayısının yumuşak ve çok sert kaya

sınıflarının kapsayacak şekilde artırılması istatistiksel açıdan daha güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

Arazide gerek tünellerin açılması ve gerekse de galerilerde jumbo delici ile yapılan delme işlerinde formasyonun karakteristik özelliklerine bakılmaksızın uç seçiminin rastgele yapıldığı tespit edilmiştir. Buna göre aynı kayaçta bazı delici tabancalara kübik, bazılarında ise küresel tip buton uçların kullanıldığı görülmüştür. Oysaki kayacın içerisindeki kuvars miktarı, çimentolanma derecesi ve dayanımı, delicinin ilerleme hızını ve ucun aşınma miktarını etkilemektedir. Dolayısı ile arazide Schmidt çekiciyle jumbo delicinin ilerleme hızı tahmin edilirken okunan değerlerin kontrollü bir şekilde kullanılması gerekir.

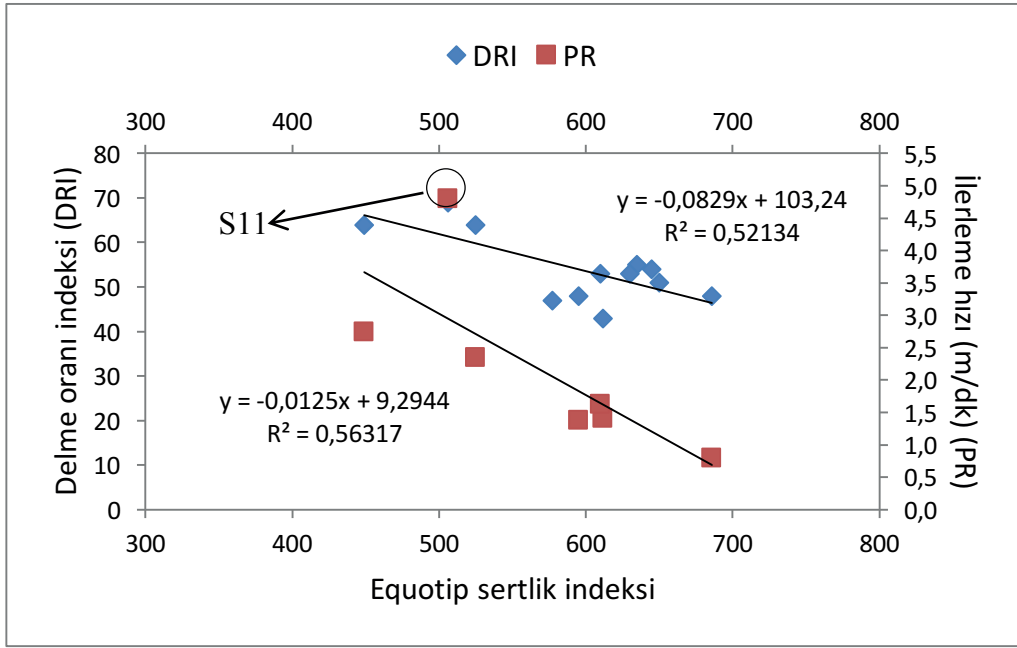


Şekil 5. Kayaçların sertlik ölçümlerinin mukayesesi.

Kayacın sertliği delinebilirliğin önceden tahmin edilmesinde önemli bir parametre olduğu bilinmektedir. Bu amaçla Equotip sertlik indeksinin uygulanabilirliği araştırmak üzere laboratuvarında elde edilen sertlik değerleri ile hem delme oranı indeksi ve hem de arazide ölçülen ilerleme hızları karşılaştırılmıştır. Buna göre Şekil 6'da verilen korelasyon grafiklerinden Equotip

sertlik indeksinin hem arazi ve hem de laboratuvarında yapılan ölçümlerle uyduğu ve aralarında lineer ilişkilerin olduğu ortaya konmuştur.

Buna göre delme oranı indeksi azaldıkça Equotip sertlik indeksinin arttığı belirlenmiştir. Benzer bir ilişki ilerleme hızları ile Equotip sertliği arasında da gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Equotip sertlik indeksi ile kayacın delinebilirliği arasındaki ilişkiler.

Yukarıdaki grafikte görüleceği üzere özellikle Aslankaya tüneline (S11) yapılan ölçümlerde yüksek ilerleme hızlarına ulaşılmıştır. Bu veri kaldırıldığında ilişki katsayısı 0,90'lara kadar çıkmaktadır. Bunun en önemli nedeni delme hızı ölçülürken kayacın karakteristik özelliklerinin yanı sıra, ucun aşınma miktarı, delicinin kontrol edilebilir parametreleri (baskı, darbe, dönme, vd.), makine ömrü, operatör tecrübesinin de delme hızı üzerinde etkili olmasıdır. Bu nedenle elde edilen ilişkilerin güvenilirliğini arttırmak için arazide daha fazla ölçüm yapılmalı ve istatistiksel çalışmaların t ve F testleri ile güvenilirliği ortaya konmalıdır.

## 5 SONUÇLAR

İstatistiksel değerlendirme sonuçlarına göre Equotip sertlik indeksinin diğer geri sıçrama mekanizmalı sertlik deney (Shore ve Schmidt) sonuçlarıyla orantılı olduğu bulunmuştur. Bu nedenle Equotip sertlik indeksinin kayalar üzerinde uygulanabilirliği teyit edilmiştir.

Diğer taraftan hem arazi ve hem de laboratuvarında yapılan delinebilirlik test sonuçlarına göre, Equotip sertlik indeksinden yararlanarak kayaların delinebilirliği ile ilgili önceden bir kestirim yapılabileceği ortaya konmuştur. Ancak her deney yönteminin bazı eksiklikleri vardır. Bu

nedenle tüm sertlik deneyi sonuçlarının kayaların diğer mekanik özellikleri ve petrografik analizlerle desteklenerek kullanılması daha uygun olacaktır.

Ayrıca, Equotip sertlik ölçerin Schmidt çekici gibi portatif bir deney aleti olması nedeni ile arazide de ölçümler alınabilir. Dolayısıyla laboratuvarında yapılan sertlik deneyleri ile arazi sonuçlarını mukayese etmek de önemli sonuçların elde edilmesini sağlayabilir.

## TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmayı destekleyen 2014-29011448-02 no'lu BEÜ Bilimsel Araştırma Projesine ve deneysel çalışmalarda yardımlarından dolayı Arş. Gör. Utku Sakız'a (BEÜ) teşekkürü bir borç bilir.

## KAYNAKLAR

- Altindag, R, 2002. Effects of specimen volume and temperature on measurements of shore hardness. *Rock Mech and Rock Eng*, 35, 2, pp. 109-113.
- Altindag, R, Guney, A, 2006. ISRM Suggested Method for determining the Shore Hardness value for rock, *Int J of Rock Mech and Min Sci*, 43, pp. 19-22.
- Aoki, H, Matsukura, Y, 2007. A new technique for non-destructive field measurement of rock-surface strength: an application of the Equotip

- hardness tester to weathering studies, *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, pp. 1759-1769.
- Arthur, CD, 1996. The determination of rock material properties to predict the performance of machine excavation in tunnels, *Quarterly J of Eng Geo*, 29, pp. 67-81.
- ASTM, 2012. E448-82, Standard Practice for Scleroscope Hardness Testing of Metallic Materials, 5 p.
- Aydin, A, 2009. ISRM Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: Revised version, *Int J of Rock Mech and Min Sci*, 46, 3, pp. 627-634.
- Bilgin, N, Dincer, T, Copur, H, 2002. The performance prediction of impact hammers from Schmidt hammer rebound values in Istanbul metro tunnel drivages, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 17, 3, pp. 237-247.
- Hack, HR, Huisman, M, 2002. Estimating the intact rock strength of a rock mass by simple means, *9th Conference of the International Association for Engineering Geology and the Environment*, pp. 1671-1677, Durban, South Africa.
- Holmgeirsdottir, T, Thomas, PR, 1998. Use of the D-762 Shore Hardness Scleroscope for testing small rock volumes, *Int J of Rock Mech and Min Sci*, 35, pp. 85-92.
- ISRM, 1978. Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks, *Int J of Rock Mech and Min Sci & Geomech Abstr*, 15, 3, pp. 89-97.
- Kahraman, S, Fener, M, Gunaydin, O, 2002. Predicting the Schmidt hammer values of in-situ intact rock from core sample values, *Int J of Rock Mech and Min Sci*, 39, 3, pp. 395-399.
- Katz O, Reches, Z, Roegiers, JC, 2000. Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer, *Int J of Rock Mech and Min Sci*, 37, 4, pp. 723-728.
- Kawasaki, S, Tanimoto, C, Koizumi, K, Ishikawa, M, 2002. An attempt to estimate mechanical properties of rocks using the Equotip hardness tester, *Jou Japan Soc Eng Geol*, 43, 4, pp. 244-248.
- Klawitter, M, Joan, E, Sarah, C, 2015. A study of hardness and fracture propagation in coal, *Int J of Rock Mech and Min Sci*, 76, pp. 236-242.
- Koncagül, EC, Santi, PM, 1999. Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties, *Int J of Rock Mech and Min Sci*, 36, 2, pp. 139-153.
- Meulenkamp, F, Grima, MA, 1999. Application of neural networks for the prediction of the unconfined compressive strength (UCS) from Equotip hardness, *Rock Mech and Min Sci*, 36, pp. 29-39.
- Ozkan, I, Bilim, N, 2008. A new approach for applying the in-situ Schmidt hammer test on a coal face, *Int J of Rock Mech and Min Sci*, 45, 6, pp. 888-898.
- Proceq 2013 Equotip 3 Taşınabilir sertlik ölçüm cihazı tanıtım kılavuzu, İsviçre, 6 s.
- Sharma, PK, Khandelwal, M, Singh, TN, 2011. A correlation between Schmidt hammer rebound numbers with impact strength index, slake durability index and P-wave velocity, *Int J Earth Sci*. 100, 1, 189-195.
- Szlavin, J, 1974. Relationships between some physical properties of rock determined by laboratory tests, *Int J of Rock Mech and Min Sci & Geomech Abstr*, 11, 2, pp. 57-66.
- Tamrock, 1978. *Handbook of Surface Drilling and Blasting*, Finlandiya, 235 p.
- Tumac D. 2015. Predicting the performance of large diameter circular saws based on Schmidt hammer and other properties for some Turkish carbonate rocks, *Int J of Rock Mech and Min Sci*, 75, pp. 159-168.
- Verwaal, W, Mulder, A, 1993. Estimating rock strength with the Equotip hardness tester, *Int J Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr*, 30, 6, pp. 659-662.
- Yaşar, E, Erdoğan, Y, 2004. Estimation of rock physicommechanical properties using hardness methods, *Engineering Geology*, 71, 3-4, pp. 281-288.
- Yaşar, E, Erdoğan, Y, 2004. Estimation of rock physicommechanical properties using hardness methods, *Engineering Geology*, 71, 3-4, pp. 281-288.
- Yurdakul, M, Akdaş, H, 2012. Prediction of specific cutting energy for large diameter circular saws during natural stone cutting, *Int J of Rock Mech and Min Sci.*, 53, pp. 38-44.

# Açık Ocak Delme – Patlatma İşlemleri için Süreç İyileştirme Amaçlı Yapılan Tasarım ve Analiz Faaliyetlerinde Kullanılmak Üzere Geliştirilen Bir Yazılım

## *A Software Developed to be Used in Design and Analysis Activities for Process Improvement for Open Pit Drilling and Blasting Operations*

E. Kazan, S. Sülünbaş

*AFA Teknoloji ARGE Müh. San. Tic. Ltd. Şti., Kütahya*

S. Ercins

*Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas MYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Sivas*

H. Akçakoca

*Dumlupınar Üniversitesi, Müh. Fak., Maden Müh. Bölümü, Kütahya*

**ÖZET** Bu çalışmada, açık ocak basamak patlatmalarında uygulanan tasarım ve analiz işlemleri için geliştirilen yazılımın tanıtımı ve bir uygulama örneği yapılmıştır. Yazılım, basamak patlatması tasarımı, yığın tane boyut analizi, çevresel etki analizi ve maliyet analizi olarak dört ana bölümden oluşmaktadır. Oluşturulan yazılımda, çalışma şartlarında elde edilen veriler ile tasarım ve analiz işlemleri yapılarak uygulamaya yönelik sayısal sonuçlar, 3 boyutlu modeller ve grafik çıktıları kullanıcıya sunulmaktadır.

Çalışmanın çıktısı olan yazılım ile açık ocak patlatma işlemleri verimli ve kontrollü olarak uygulanabilmesine yönelik sonuçlar üretilebilmektedir. Böylelikle istenilen tane boyut dağılımına sahip, düşük maliyetli parçalanmış yığın oluşumu elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca çevresel hassasiyetlerde sağlanabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Süreç iyileştirme, Patlatma yazılımı, Açık ocak basamak patlatması

**ABSTRACT** In this study, an introduction and an application example of the software developed for the design and analysis processes applied in open pit bench blastings were made. The software consists of four main parts: bench blasting design, bulk grain size analysis, environmental impact analysis and cost analysis. In the created software, numerical results, 3D models and graphic output are presented to the user by designing and analyzing the data obtained in working conditions and applying them.

With the software that is the output of the employee, the results can be produced for efficient and controlled application of open pit blasting operations. Thus, it is possible to achieve a low-cost fragmented pile formation with the desired grain size distribution. It is also available in environmental sensitivities.

**Keywords:** Process improvement, Blasting software, Open pit bench blasting

## 1 GİRİŞ

Açık ocak patlatmalarında temel hedef, kaya kütlelerinin en uygun parça boyutunda ve en az maliyetle parçalanmasını sağlamak ve bunu yaparken patlatma anında meydana gelmesi olası çevresel etkileri en aza indirmektir. Patlatma esnasında meydana gelen çevresel problemler (yer sarsıntısı, taş savrulması, gürültü ve hava şoku) işletmecilerin ve teknik elemanların çözmesi gereken önemli sorunlar olarak karşılına çıkmaktadır. Ayrıca uygun olmayan parça boyutu açık işletmecilikte önemli maliyet kalemlerinden olan yükleme, taşıma ve kırma maliyetlerini önemli ölçüde etkilemekte ve taşıyıcı ekipmanın homojen olmayan yüklere maruz kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, uygun parça boyutu elde etmek için özellikle delme geometrisi ve uygun patlayıcı miktarının çevresel hassasiyetleri de gözetererek en uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Patlatma maliyetlerinin düşürülmesi ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi ancak verimli ve kontrollü bir patlatma yapılmasıyla mümkündür. Verimli patlatma işlemi ise işlem maliyeti ve oluşan çevresel etkiler göz önüne alınarak; delme geometrisi, patlayıcı madde miktarları ve ateşleme düzeni gibi değişkenlerin bilimsel metotlar kullanılarak optimize edilmesiyle tasarlanmalıdır. Bu parametrelerin optimizasyonu patlayıcının enerjisinin tamamının parçalama ve öteleme işinde kullanılmasını en üst düzeye çıkaracaktır. Bu sayede istenmeyen teknik ve çevresel sorunların da (tırnak oluşumu, patar atılma gerekliliği, tehlikeli boyutlarda yer sarsıntısı, hava şoku, taş savrulması vb.) önüne geçilecektir.

Açık ocak patlatma tasarım işlemleri çok sayıda parametreye bağlı olup uzun ve dikkat gerektiren hesaplamalar ile yapılmaktadır. Değiştirilebilen parametrelere göre hızlı bir şekilde alternatifli sonuçlar üretebilmek bu konu üzerinde çalışma yapan teknik elemanların çalışma sürelerini kısaltarak farklı analizler ve değerlendirmeler yapabilmesine yardımcı olur. Günümüzde,

bu işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlayan en önemli araç yazılımlardır.

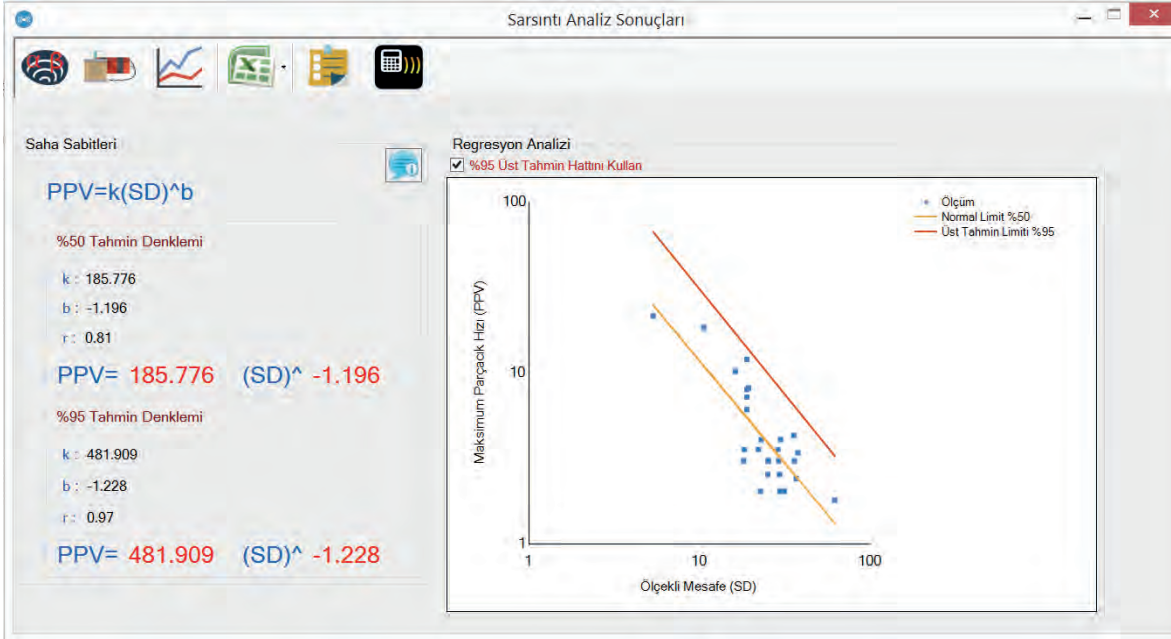
Bu çalışmada, açık ocak basamak patlatmalarında süreç iyileştirme amaçlı yapılan tasarım ve analiz faaliyetlerinde kullanılmak üzere bilimsel yaklaşımlar kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. İlerleyen bölümlerde bir uygulama örneği üzerinden yazılımın tanıtımı yapılmıştır.

## 2 GELİŞTİRİLEN YAZILIM

Masaüstü programlama teknikleri kullanılarak Windows Form tabanlı, veritabanı sistemine sahip bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım, basamak patlatması tasarımı, çevresel etki analizi, yığın tane boyut analizi ve maliyet analizi olmak üzere dört ana modülden oluşmaktadır. Çevresel etki analizi de kendi içinde sarsıntı ve gürültü analizi, taş savrulması analizi ve hava şoku analizi olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.

Çalışma kapsamında, patlatma uygulamalarında çevresel sorunlar yaşayan bir kırmataş ocağında yazılımın uygulaması yapılmıştır. İlk olarak, sahada deneme atımları yapılmış ve bu atımlar sırasında sarsıntı ve gürültü ölçümleri kayıt edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda mesafeye bağlı gecikme başına kullanılabilir en yüksek patlayıcı miktarları belirlenmiş ve diğer tasarım işlemleri burada belirlenen değerler göz önüne alınarak yapılmıştır.

Saha çalışmalarında yapılan deneme atımlarında sarsıntı ve gürültü ölçer cihazlar kullanılarak 28 adet ölçüm verisi alınmıştır. Atımlardan elde edilen bilgiler yazılımın sarsıntı ve gürültü analizi bölümünde girilerek veritabanına kaydedilmiştir. Bu bölümde, literatürde yaygın olarak kullanılan yaklaşım temel alınmıştır (Siskind vd.,1980; Dowding, 1985). Yazılım, deneme atımlarından elde edilen verilere üs (power) regresyon modelini uygulamakta ve ilgili sahaya ait saha sabitlerini ve saha denklemlerini tespit etmektedir. Bu aşamada en yüksek parçacık hızı – ölçekli mesafe grafiği oluşturulur. Grafik üzerinde %50 ve %95 tahmin limitli denklemler gösterilir (Şekil 1).



Şekil 1. Saha denklemleri ve sabitleri.

Tespit edilen %95 tahmin limitli denklem kullanılarak Türkiye standardında belirtilmiş olan en yüksek parçacık hızı sınır değerleri için mesafeye bağlı olarak gecikme başına izin verilen en yüksek patlayıcı miktarları hesaplanır. Burada hesaplanan patlayıcı miktarları ileride yapılacak patlatmalarda yer sarsıntısını en düşük düzeyde tutabilmesi için izin verilen en yüksek sınır değerlerdir.

Çalışma yapılan sahanın hâkim frekans dağılımına göre 19 mm/sn parçacık hızı sınır değeri dikkate alınmıştır. Patlatma bölgesine 100 metre mesafe uzaklıkta yerleşim yeri bulunduğundan gecikme başına izin verilen maksimum patlayıcı miktarı 51,643 kg olarak belirlenmiştir (Şekil 2).

Sayfa 1 Sayfa 2

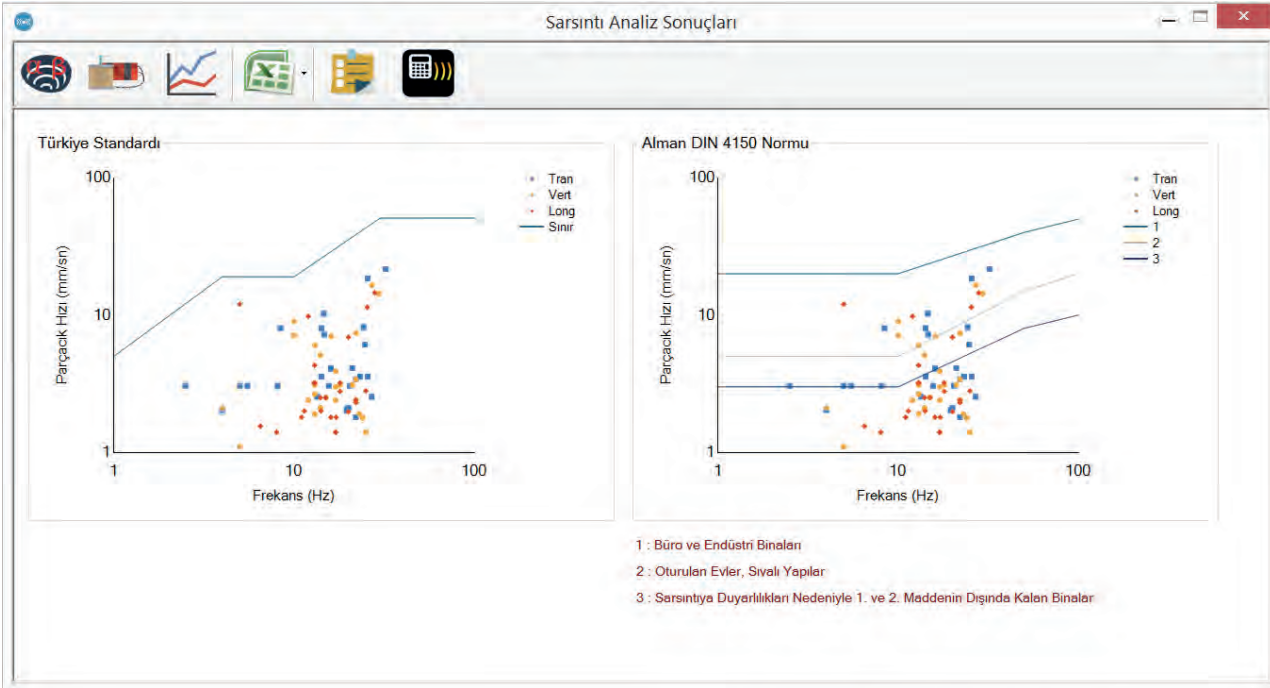
Gecikme Başı Kullanılabilecek Maksimum Patlayıcı Madde Miktarları, (kg) (%95 Üst Tahmin Hattına Göre Hesaplanmıştır.)

MESAFE (m)	5 mm/sn	19 mm/sn	50 mm/sn	MESAFE (m)	5 mm/sn	19 mm/sn	50 mm/sn
50	1.468	12.911	62.423	550	177.608	1562.198	7553.141
100	5.871	51.643	249.691	600	211.368	1859.145	8988.862
150	13.211	116.197	561.804	650	248.064	2181.913	10549.429
200	23.485	206.572	998.762	700	287.696	2530.502	12234.84
250	36.696	322.768	1560.566	750	330.263	2904.914	14045.097
300	52.842	464.786	2247.216	800	375.766	3305.146	15980.2
350	71.924	632.626	3058.71	850	424.205	3731.2	18040.147
400	93.942	826.287	3995.05	900	475.579	4183.076	20224.94
450	118.895	1045.769	5056.235	950	529.889	4660.772	22534.578
500	146.784	1291.073	6242.265	1000	587.135	5164.291	24969.062

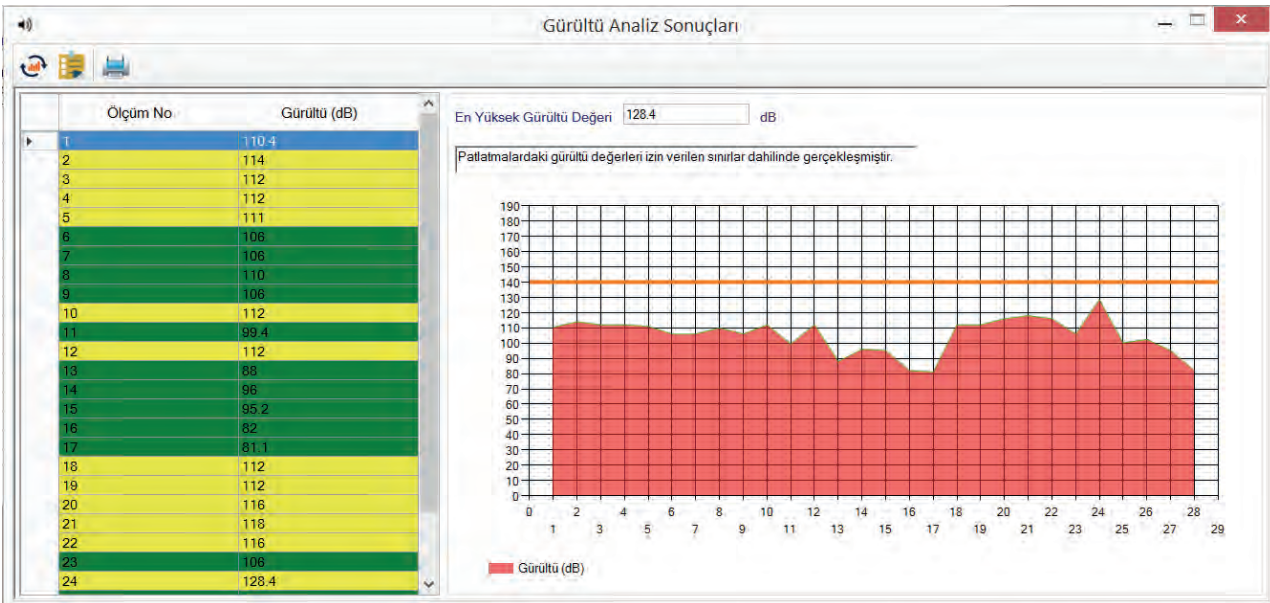
Şekil 2. Üst sınır patlayıcı miktarları.

Patlatma yapılan sahada sarsıntı etkisinin belirlenmesi için Türkiye standardı ve Alman DIN 4150 normlarına göre değerlendirmesi yapılabilmektedir. Bu normlara ait grafikler oluşturularak ölçümlerde elde edilen parçacık hızı ve frekans değerlerinin sınır hatları aşp aşmadığı değerlendirilebilmektedir. Yapılan deneme atımı uygulamalarının izin verilen sınırlar dâhilinde gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 3).

Gürültü ölçümlerinin de değerlendirilebilmesi için ayrı bir form hazırlanmıştır. Bu formda gürültü seviyeleri çizelgesine göre değerlendirme yapılır. Uygulama yapılan sahada 81-128,4 dB aralığında gürültü değerleri kaydedilmiştir. Bu değer aralığı anlık ses için maksimum seviye olan 140 dB altında olduğundan gürültü değerleri izin verilen sınırlar dâhilinde meydana geldiği söylenebilir (Şekil 4).



Şekil 3. Parçacık hızı – frekans grafikleri.



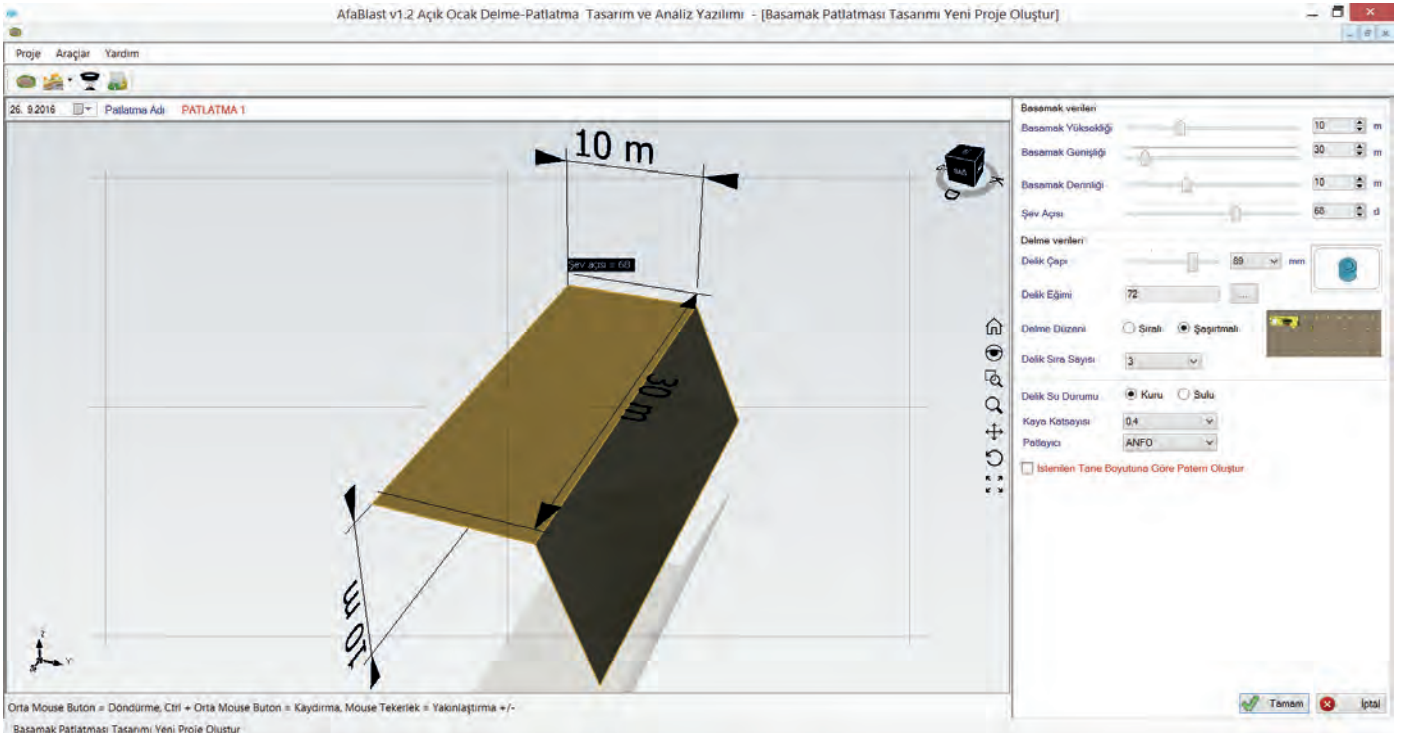
Şekil 4. Gürültü değerlendirme sonuçları.



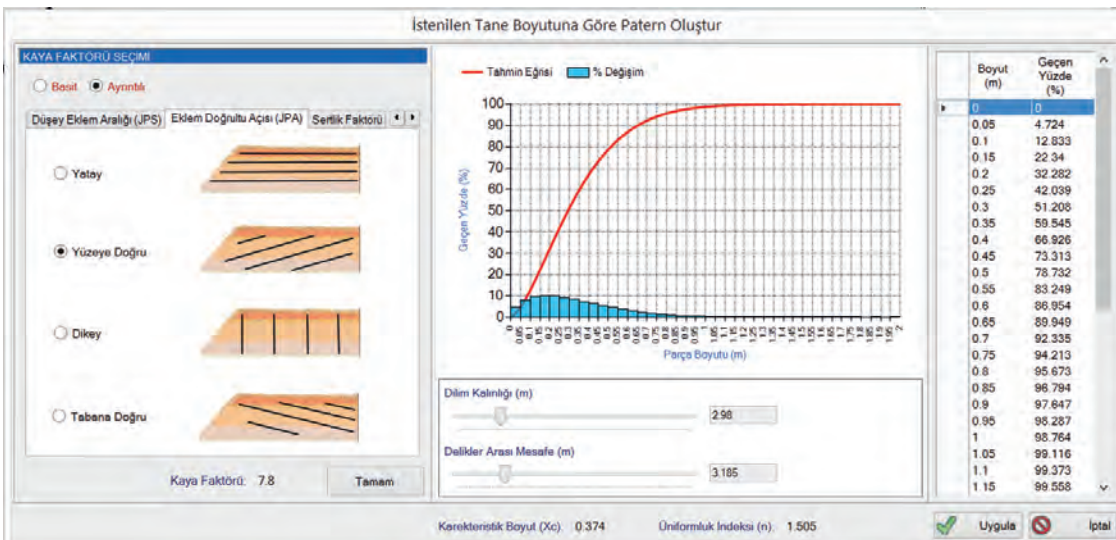
Uygulama kapsamında, yer sarsıntısı etkisini denetim altında tutmak için gereken patlayıcı miktarları belirlendikten sonra basamak patlatması patern tasarımı yapılmıştır.

Yazılımın basamak patlatması modülünde Olofsson (1990) yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımdaki önerilere göre tasarım işlemleri gerçekleştirilmektedir. Basamak patlatması tasarımı için kullanıcıdan basamak boyutları, delme düzeni ve kullanılacak patlayıcı ile ilgili bilgiler istenir (Çizelge 1). Girilen basamak bilgilerine göre 3 boyutlu basamak modeli oluşturulur (Şekil 5).

Giriş bilgilerinde, istenilen tane boyutuna göre patern oluşturmak bir seçenek olarak sunulmuştur. Bu seçenek seçildiğinde açılan formda Kuz-Ram modeli kullanılarak yığın tane boyut analizi yapılmaktadır (Strelec vd., 2011). Bu formda kaya faktörü belirlendikten sonra giriş parametrelerine göre hesaplamalar yapılmaktadır. Dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe değerlerinde değişiklikler yapılarak istenilen tane boyut dağılımı elde edilmesine imkân tanınmıştır (Şekil 6). Basamak patlatması tasarımında burada belirlen dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe hesaba katılmaktadır.



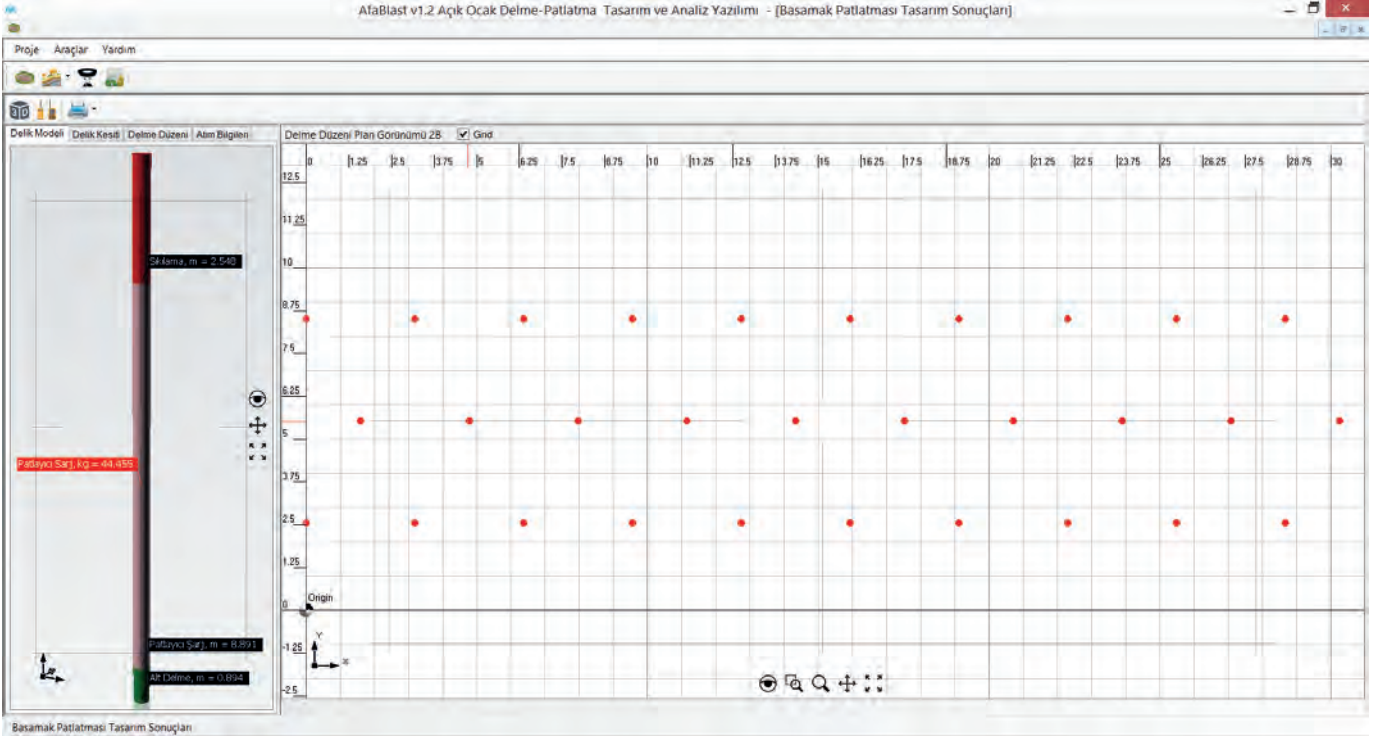
Şekil 5. Basamak patlatması tasarımı yeni proje oluşturulması.



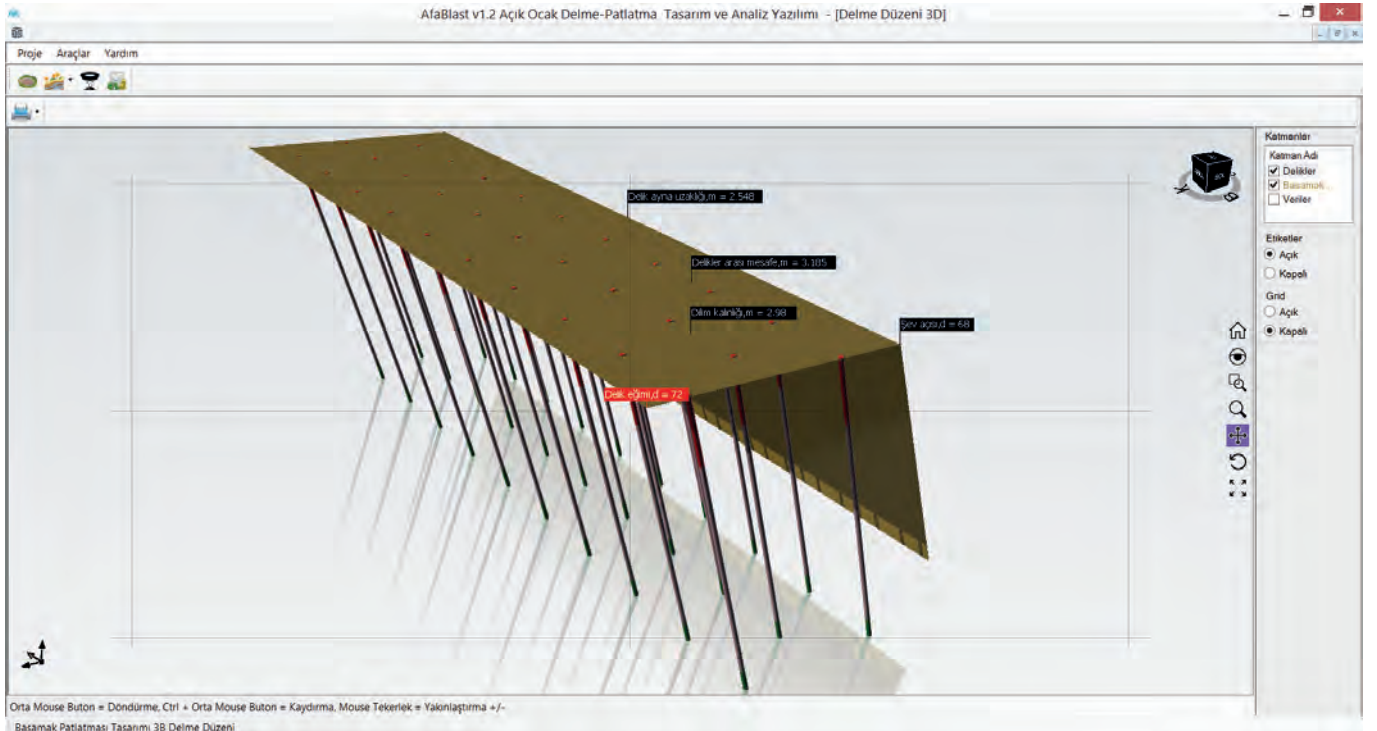
Şekil 6. İstenilen tane boyutuna göre basamak patlatması tasarımı.

Basamak patlatmasında giriş verileri alınıp kaydedildikten sonra sonuçlar hazırlanır. Hesaplanan değerlere göre tasarım sonuçları formunda delik modeli, delme düzeni planı ve delme düzeni 3 boyutlu modeli oluşturulur. Giriş verilerine göre hesaplanan tasarım parametrelerine ait değerlerin tümü, tasarım sonuçları formunda gösterilmektedir (Şekil 7). Delme düzeni 3 boyutlu modeli

Şekil 8’de gösterilmiştir. Uygulama kapsamında yazılıma girilen veriler ve tasarım sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 7. Basamak patlatması tasarım sonuçları.



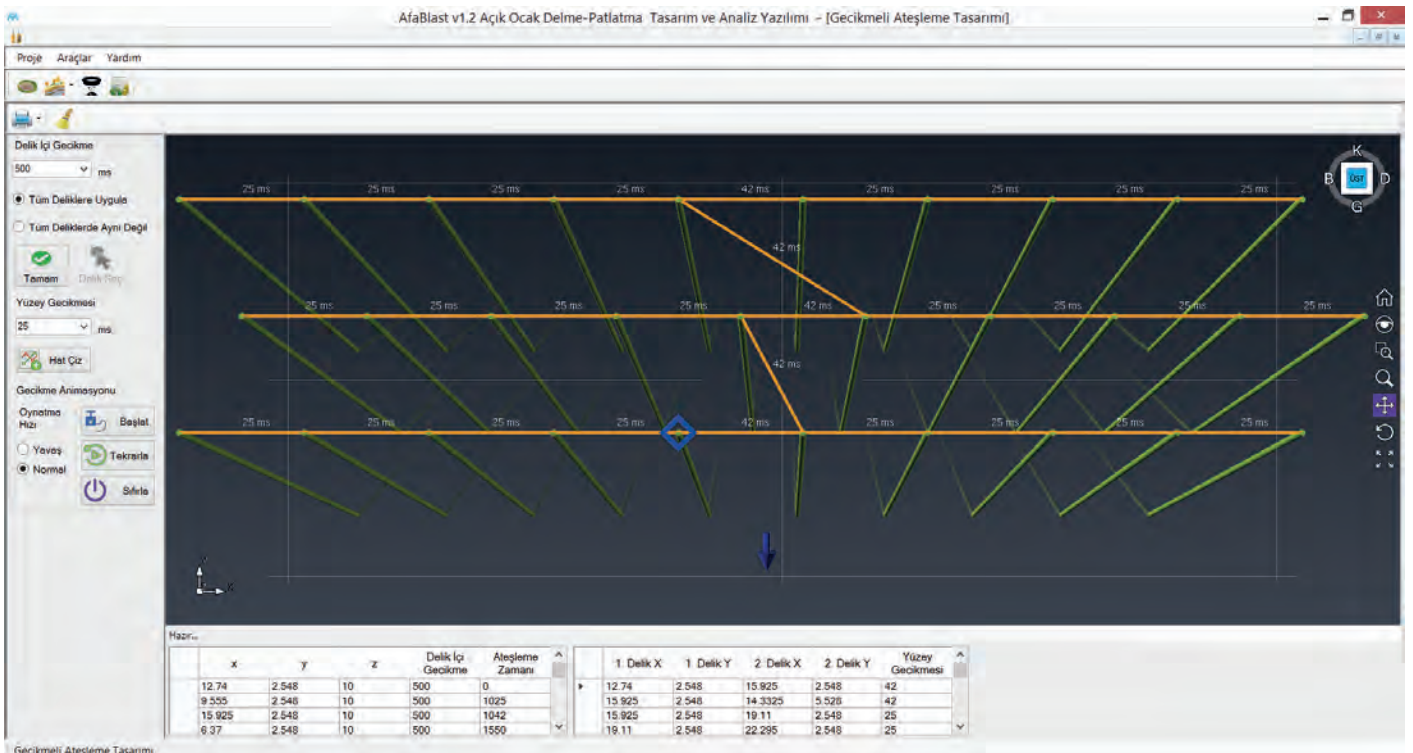
Şekil 8. Basamak patlatması tasarım sonuçları 3 boyutlu delme düzeni modeli.

Çizelge 1. Basamak patlatması tasarımı giriş ve çıkış bilgileri.

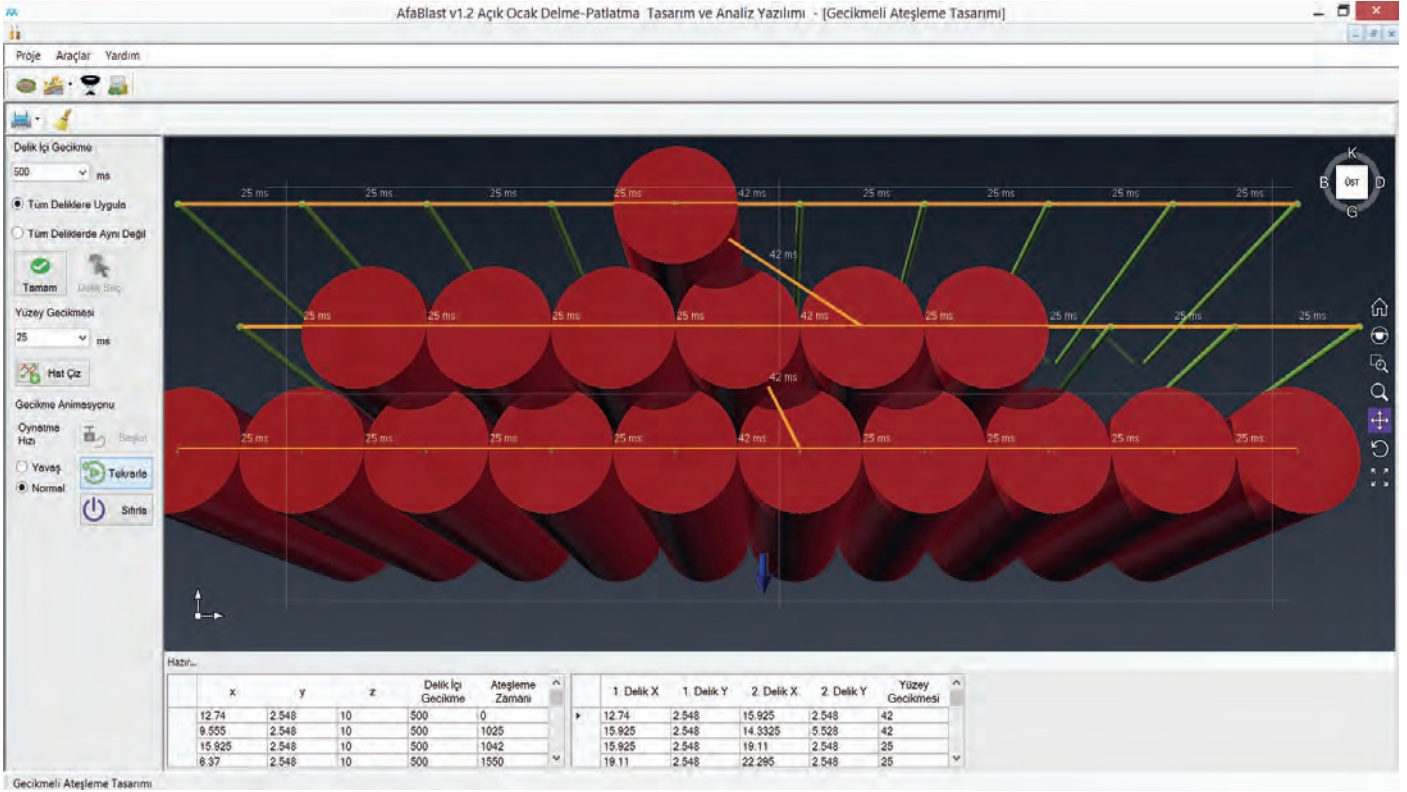
GİRİŞ BİLGİLERİ	
Basamak yüksekliği (m)	10
Basamak genişliği (m)	30
Basamak derinliği (m)	10
Şev açısı (derece)	68
Delik çapı (mm)	89
Delik eğimi (derece)	72
Delme düzeni	Şaşırtmalı
Delik sıra sayısı (adet)	3
Delik su durumu	Kuru
Kaya katsayısı	0,4
Patlayıcı	ANFO
ÇIKIŞ BİLGİLERİ	
Delik uzunluğu (m)	11,43
Sıkılama uzunluğu (m)	2,54
Patlayıcı şarj uzunluğu (m)	8,89
Alt delme uzunluğu (m)	0,89
Patlayıcı şarj miktarı (kg)	44,45
Özgül şarj (kg/m <sup>3</sup> )	0,58
Delik ayna uzaklığı (m)	2,54
Delikler arası mesafe (m)	3,18
Maks. Dilim kalınlığı (m)	2,98
Bir sıradaki delik sayısı (adet)	10
Spesifik delme (m/m <sup>3</sup> )	0,15

Basamak patlatması tasarımı bölümünde gecikmeli ateşleme tasarımı da yapılabilmektedir. Bu bölümde, 3 boyutlu düzlem üzerinde ateşleme tasarım çizimleri yapılabilmekte ve gecikme animasyonu canlandırılabilir. Delik içi gecikme ve yüzey gecikme değerleri girilerek arzu edilen biçimde delik bağlantıları yapılabilmektedir. İşlem sırasında hat çizimi durumuna göre her bir deliğin ateşleme zamanı otomatik olarak hesaplanmaktadır.

Uygulama kapsamında ilgili paterne tek serbest yüzeyli bir gecikmeli ateşleme tasarımı yapılmıştır. 42 ms ve 25 ms yüzey gecikmeleri kullanılmış ve her bir delikte delik içi 500 ms olarak belirlenmiştir. Bu sayede her bir deliğin farklı zamanlarda patlaması sağlanmış olup gecikme başına bir adet delik patlayacak şekilde bir tasarım yapılmıştır (Şekil 9). Gecikme başına patlayıcı miktarı 44,45 kg olacaktır. Bu şekilde 100 metre mesafe için izin verilen gecikme başına patlayıcı miktarı olan 51,64 kg değeri altında olması sağlanmıştır. Gecikme tasarımına ait animasyon anından bir görünüm Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Gecikme ateşleme tasarımı.



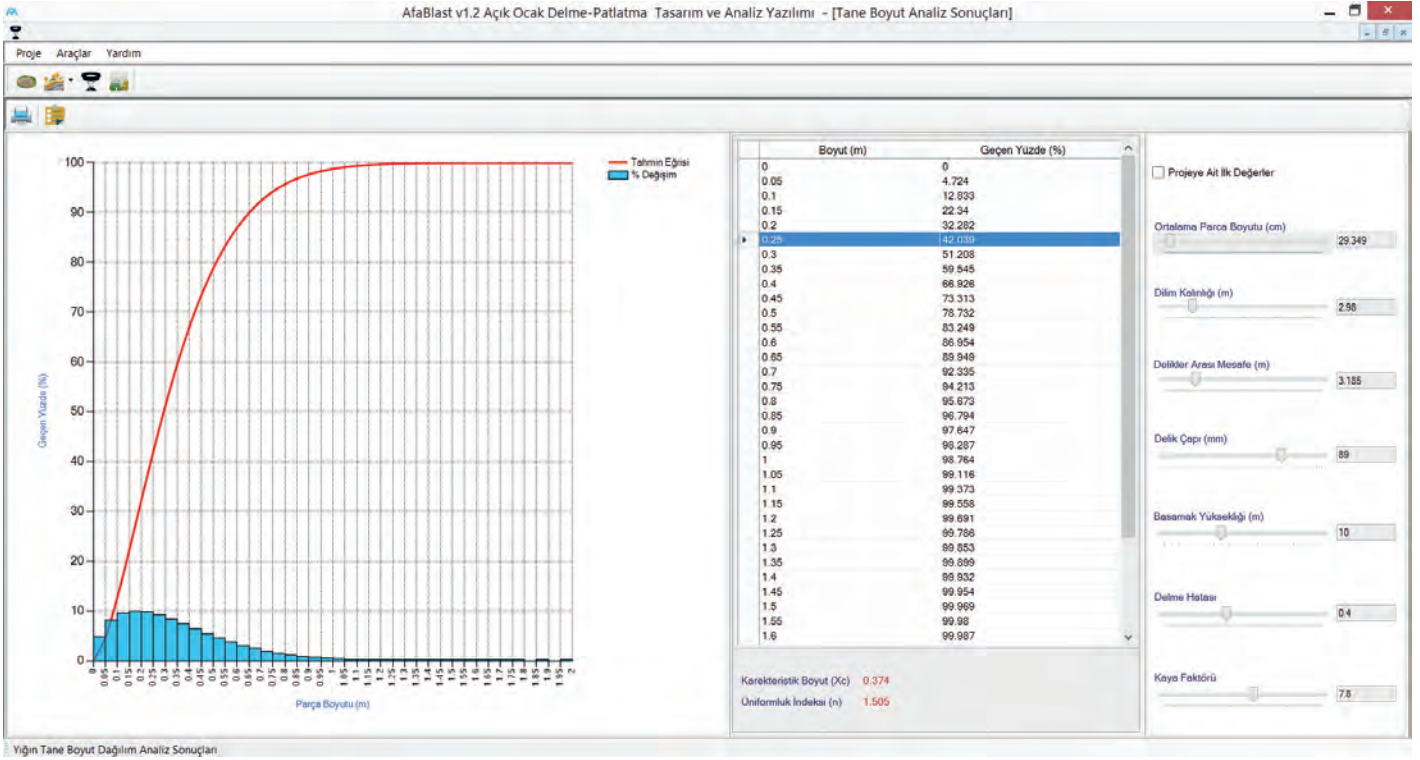
Şekil 10. Gecikme animasyonu anından bir görünüm.

Yazılımda, basamak patlatması tasarımı modülünden ayrı olarak yığın tane boyut analizi modülü oluşturulmuştur. Bu modülde daha önce de belirtildiği gibi Kuz-Ram yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre kullanıcıdan istenen veriler ve hesaplanan çıkış bilgileri Çizelge 2’de verilmiştir.

Tane boyut analizi sonuçları formunda parça boyutu – geçen yüzde (%) grafiği ve tablosu oluşturulur. Hazırlanan grafik üzerinde bir tahmin eğrisi ve yüzde (%) değişimleri gösteren sütunlar bulunmaktadır. Kullanıcı, aynı formda var olan yan menüdeki parametreler üzerinde dilediği değişikliği yaparak değişen değerlere göre sonuçları görüntüleyebilmektedir. Buradaki parametreler, doğrudan tane boyut dağılımına etki eden değişkenler olan; dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik çapı, basamak yüksekliği, delme hatası ve kaya faktörüdür (Şekil 11).

Çizelge 2. Yığın tane boyut analizi giriş ve çıkış bilgileri.

GİRİŞ BİLGİLERİ	
Basamak yüksekliği (m)	10
Delik çapı (mm)	89
Delikler arası mesafe (m)	3,185
Dilim kalınlığı (m)	2,98
Delme düzeni	Şaşırtmalı
Delik başına toplam şarj miktarı (kg)	44,45
Patlayıcı şarj uzunluğu (m)	8,89
Delme hatası (m)	0,4
Kaya kütle tanımlaması, RMD	Düşey eklemli (Bloklu)
Düşey eklem aralığı, JPS (m)	Orta (0,1-1)
Eklem doğrultu açısı, JPA	Yüzeye doğru
Tek eksenli basma dayanımı, (Mpa)	175
Young Modülü (Gpa)	65
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	2,64
ÇIKIŞ BİLGİLERİ	
Ortalama parça boyutu (m)	0,29
P80 (m)	0,52
P40 (m)	0,23
P20 (m)	0,14
Karakteristik boyut, Xc	0,374
Üniformluk indeksi, n	1,50



Şekil 11. Yığın tane boyut analizi sonuçları.

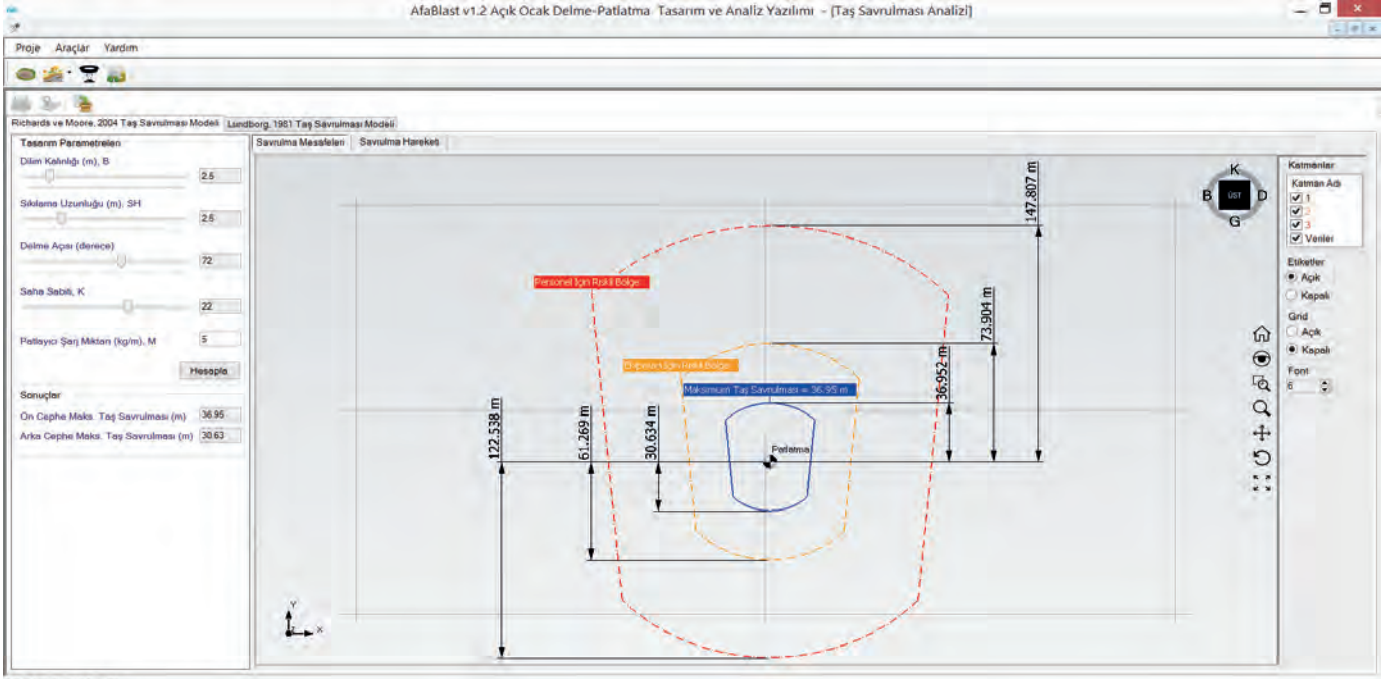
Çevresel etki analizi kapsamında, taş savrulması analizi için ayrı bir modül hazırlanmıştır. Bu bölümde yapılan hesaplamalarda Richards ve Moore (2004) yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda, dilim kalınlığı, sıkılama uzunluğu, delme açısı, patlayıcı şarj miktarı ve saha sabiti parametrelerine göre taş savrulması hesaplamaları yapılmaktadır. Burada saha sabiti, 13 ile 27 arasında bir değer olup kayacın sertliğini belirten bir sabittir. Zayıf kayalarda 13, orta sert kayalarda 22, sert kayalarda 27 alınması önerilmektedir.

Yazılım, giriş parametrelerine göre maksimum taş savrulması ve riskli zon mesafelerini hesaplayıp bunlara ait çizimleri oluşturmaktadır (Şekil 12). Ayrıca maksimum taş savrulmasının izleyeceği hareketin modellemesini gerçekleştirmektedir (Şekil 13).

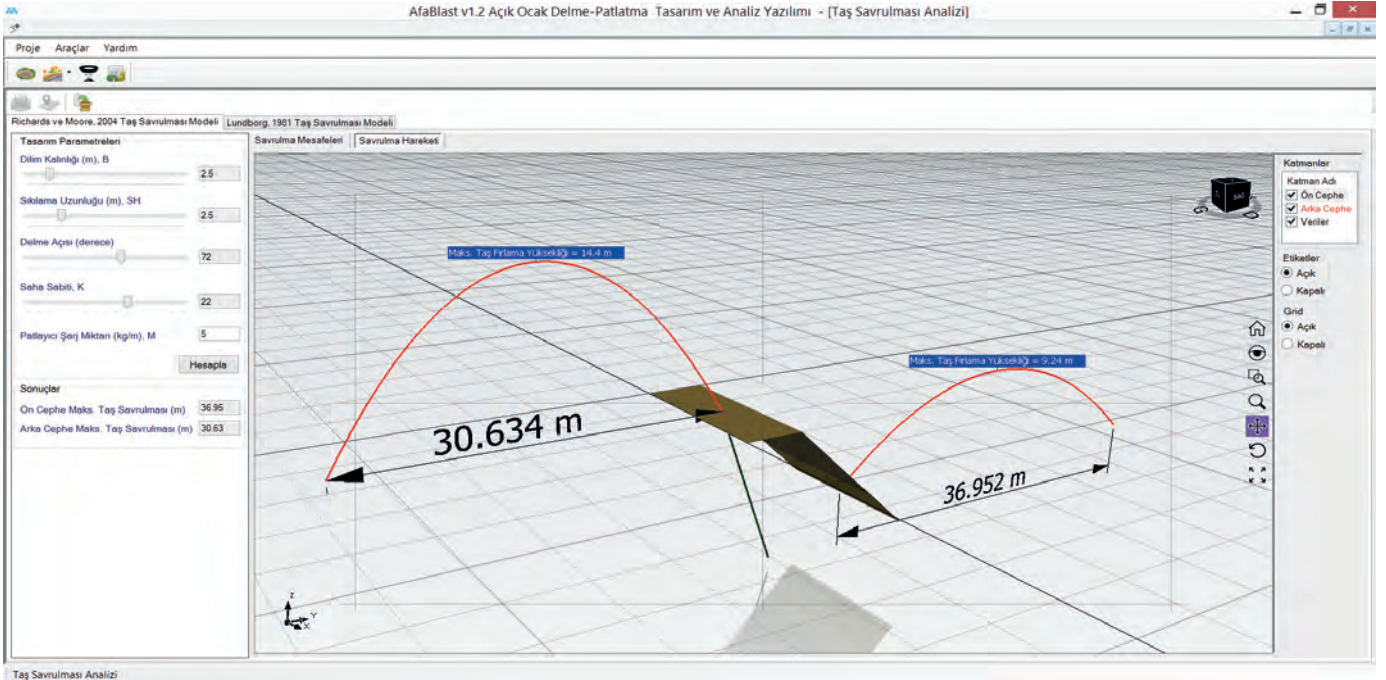
Uygulama kapsamında önerilen paterne ait taş savrulması analizi giriş ve çıkış bilgileri Çizelge 3’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre ilgili paternde tehlike arz edebilecek taş savrulması sonuçlarıyla karşılaşmayacağı görülmektedir.

Çizelge 3. Taş savrulması analizi giriş ve çıkış bilgileri.

GİRİŞ BİLGİLERİ	
Dilim kalınlığı, B (m) (delik ayna uzaklığı)	2,5
Sıkılama uzunluğu, SH (m)	2,5
Delme açısı (derece)	72
Saha sabiti, K	22
Patlayıcı şarj miktarı, M (kg/m)	5
ÇIKIŞ BİLGİLERİ	
Ön cephe maks. taş savrulması mesafesi (m)	36,95
Arka cephe maks. taş savrulması mesafesi (m)	30,63
Ön cephe Ekipman için riskli bölge (m)	73,90
Arka cephe Ekipman için riskli bölge (m)	61,26
Ön cephe Personel için riskli bölge (m)	147,8
Arka cephe Personel için riskli bölge (m)	122,5
Ön cephe maks. taş savrulma yüksekliği (m)	9,24
Arka cephe maks. taş savrulma yüksekliği (m)	14,4



Şekil 12. Taş savrulması analizi savrulma mesafeleri.

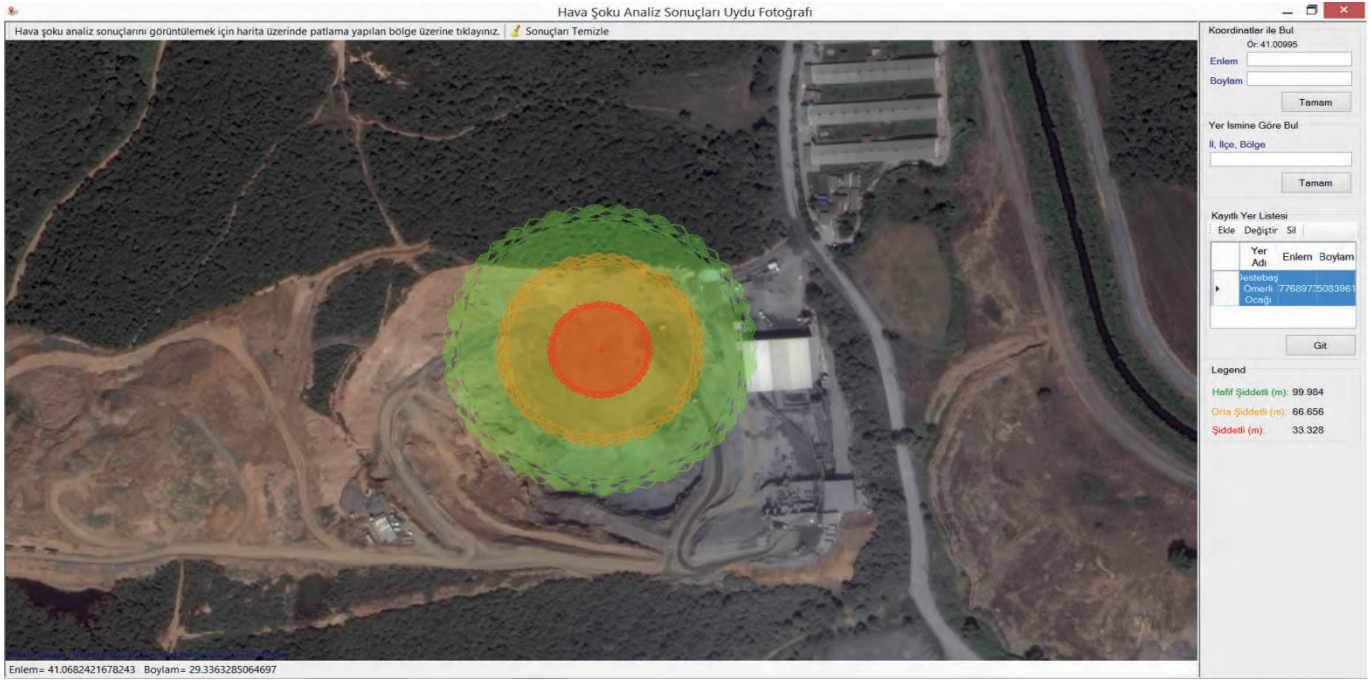


Şekil 13. Taş savrulması analizi savrulma hareketi.

Çevresel etki analizi kapsamında son olarak hava şoku analizi yapılmıştır. Bunun için geliştirilen hava şoku analizi bölümünde Calzia (1969) yaklaşımı kullanılmıştır. Gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarına göre hava şoku etkisi hesaplanmaktadır (Şekil 14). Uygulama kapsamında önerilen paterne ait hava şoku etkisi hesaplanmış giriş ve çıkış bilgileri çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. Hava şoku analizi giriş ve çıkış bilgileri.

GİRİŞ BİLGİLERİ	
Gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı (kg)	44,45
ÇIKIŞ BİLGİLERİ	
Şiddetli etki zonu (m)	33,32
Orta şiddette etki zonu (m)	66,64
Hafif şiddetli etki zonu (m)	99,98



Şekil 14. Hava şoku analizi.

Uygulama kapsamında, önerilen basamak patlatması paterni için maliyet hesaplamaları yapılmıştır.

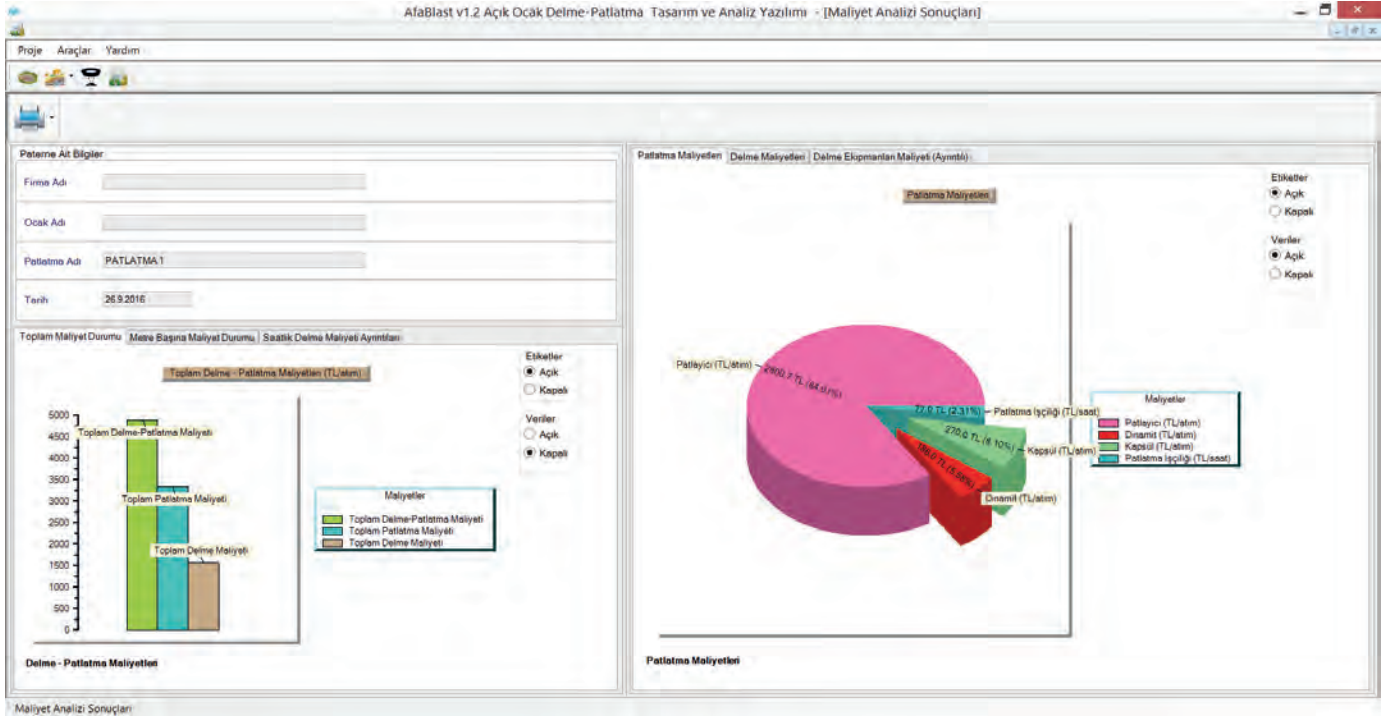
Yazılımın maliyet analizi modülünde birçok parametre etkin olup bu parametrelerin bir arada kullanılmasıyla hesaplamalar yapılmaktadır. Verilerin düzenli olarak tutulmasına, ayrıntılı analiz ve raporlamalar yapılmasına imkân tanınmıştır. İşçilik ücretleri, patlayıcı bilgileri ve makine ekipman bilgileri olarak üç ayrı konuda veriler alınarak sonuçlara ulaşılmaktadır.

Uygulama kapsamında önerilen paterne ait maliyet analizi giriş ve çıkış bilgileri Çizelge 5'de verilmiştir. Bu sonuçlar için hazırlanan sonuç formu Şekil 15'te verilmiştir.

Çizelge 5. Maliyet analizi giriş ve çıkış bilgileri.

GİRİŞ BİLGİLERİ	
<b>Delme İşçiliği</b>	
Çalışılmayan gün sayısı	4
Bir delici operatörün vardiyadaki çalışma saati (Saat/ vardiya)	6,8
Operatör sayısı	1
Operatör ücreti (TL/ay)	2500
Bir gündeki vardiya adedi	1
Operatör yardımcı sayısı	1
Operatör yardımcı ücreti (TL/ay)	1500

Patlatma İşçiliği	
Ateşçi sayısı	1
Ateşçi ücreti	2000
Bir ateşçinin çalışma süresi (saat/vardiya)	1
Patlayıcı Bilgileri	
Kapsül birim maliyeti (TL/kapsül)	9
Kapsül sayısı	30
Dinamit birim maliyeti (TL/kg)	6,2
Dinamit miktarı (kg/delik)	30
Patlayıcı birim maliyeti (TL/kg)	2,1
Patlayıcı miktarı (kg)	1333,6
Makine ve Ekipman Bilgileri	
Delici makine fiyatı (TL)	1200000
Delici makine amortisman süresi (saat)	43800
Delici makine sayısı	1
Delici makine yakıt tüketimi (litre/saat)	25
Yakıt litre fiyatı (TL/litre)	4,56
Delici makinenin çalışma süresi (saat/atım)	6,8
Delici makine yağ harcaması (TL/saat)	2
Delme ekipmanları (TL/atım)	260
Tamir faktörü	0,55
ÇIKIŞ BİLGİLERİ	
Toplam delme-patlatma maliyeti (TL/atım)	4894
Toplam patlatma maliyeti (TL/atım)	3333,6
Toplam delme maliyeti (TL/atım)	1560,4
Metre başına patlatma maliyeti (TL/metre)	9,71
Metre başına delme maliyeti (TL/metre)	4,54
Metre başına toplam maliyet (TL/metre)	14,26
1 saatteki delme maliyeti (TL/saat)	229,45
1 saatte delinen ortalama delik uzunluğu (m)	50,46



Şekil 15. Maliyet analizi sonuçları.

### 3 SONUÇLAR

Bu çalışmada, açık ocak basamak patlatmalarında yapılan tasarım ve analiz işlemlerinde kullanılmak üzere bilimsel metot ve yöntemler kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. Bir kalker ocağı uygulaması örneği üzerinden yazılımın tanıtımı yapılmıştır. Geliştirilen yazılım ile açık ocak patlatma işlemlerinin verimli ve kontrollü olarak uygulanabilmesine yönelik faydalı sonuçlar elde edilmiştir.

Yazılım tarafından önerilen paternin uygulanması ile patlatmadan kaynaklanan çevresel şikâyetlerde oldukça azalma gözlemlenmiş olup uygun yığın tane boyut dağılımı elde edilmiştir.

Bilindiği üzere madencilik çalışmaları büyük yatırımlar gerektiren işlerdir. Yapılan hatalar ile ilerde çok büyük maddi ve manevi sorunlarla karşılaşılmasını önlemek için bilişim teknolojileri çalışmalarının kullanımına ve geliştirilmesine önem verilmelidir. Hataların en aza indirilmesi ve hızlı sonuca varmak amacıyla bu tür yazılımların kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Bu sayede karmaşık gözükken birçok işlem en doğru, en güvenli ve en hızlı şekilde yapılması sağlanabilmektedir.

### KAYNAKLAR

- Calzia, J., 1969. Les substances explosives at levis nuisances, Dunod ed., Paris.
- Dowding, C.H., 1985. Blast Vibration Monitoring and Control. *Prentice-Hall*, 297p.
- Olofsson, SO, 1990. *Applied explosives technology for construction and mining*, Sweden, s. 301.
- Richards, A B and Moore, A J, 2004. Flyrock control – by chance or design, in *Proceedings of the 30<sup>th</sup> Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, p 345-348, The International Society of Explosives Engineers.
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., Dowding, C.H., 1980. Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting, RI 8507, Bureau of Mines. s.74.
- Strelec, S., Gazdek M., Mesec J., 2011. Blasting Design For Obtaining Desired Fragmentation, *Technical Gazette 18*, s. 79-86.



# Yeraltı Patlatmalarından Kaynaklı Sismik Enerjinin Tahkimat Tasarımında Dinamik Etki Olarak Parametrik Bir Şekilde Tanımlanması

## *Parametrical Definition of the Underground Blasting Induced Seismic Energy As A Dynamic Effect In Support Design*

G.G. Uyar, N.O. Güngör

*Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara*

E. Yaman

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara*

**ÖZET** Tünellerde ve yeraltı madenlerinde, zamana bağlı olarak değişen yük/gerilme durumları karşısında kayanın deformasyon özelliği belirlenirken ve tahkimat tasarımı buna göre yapılırken, patlatmalı kaya kazısı yapılan durumlar için, patlatma genlikleri ve frekans içeriğinin tahkimatlar ve kaya yapısı üzerindeki etkilerinin de modellenerek tahkimat tasarımında kullanılacak modele veri olarak girilmesi, tasarımda çok daha hassas sonuçlar verecektir. Literatürde, kayanın deformasyon özelliğini belirlemek ve tahkimat tasarımı yapabilmek için hazırlanan sayısal modellere dinamik etki olarak bölgenin depremselliği gözönüne alınarak ortalama bir deprem ivme-zaman bilgisi girilmektedir. Oysa ki yeraltında ya da tünellerde kaya kazısı amaçlı yapılan patlatmaların yarattığı dinamik etkiler, genel bir bölgesel depremsellik bilgisinden çok daha fazla önemsenmeyi ve dikkate alınmayı hak etmektedir. Bu çalışma, “Deformasyona İzin Vermeyen Tahkimat Sistemi”nin önerildiği ve halen devam eden bir Tübitak Projesinde, tahkimat tasarımında dinamik etkiler olarak patlatma verilerinin parametrik olarak nasıl tanımlanabileceğini gösteren bir çalışmadır.

### **ABSTRACT**

In tunnels and underground mines, as the deformation characteristic of the rock against the time dependently changing load/tension states is determined and accordingly a suitable support system is designed, for the cases in which the rock excavation by blasting is applied, defining the effects of the blast induced vibrations amplitudes and frequencies on the support systems and rock structure as input variables in order to utilize the modelling of support systems will produce much sensitive results within the design. So as to determine the deformation characteristic of the rock and design a support system correspondingly, considering the seismicity of the related site an average earthquake's acceleration-time data is provided to the numerical models as a dynamic effect according to the literature. Yet the dynamic effects induced by the blastings having the purpose of rock excavation that are done in the underground mines or in the tunnels, deserve to be considered more important and taken into account esoterically rather than solely assuming the general regional seismicity. The study demonstrates the way of defining the blasting data parametrically as the dynamic effects during a support system design within the context of a project called “Non-Deformable Support Systems”, supported by Tubitak.

## 1 GİRİŞ

Yeraltı patlatmalarından kaynaklanan titreşimler, yerüstündekilere göre farklılık göstermektedir. Yerüstü patlatmalarına göre daha derinlerde yapıldığı için düşük frekanslı yüzey dalgalarından çok, yüksek frekanslı gövde dalgaları üremektedir. Yüksek frekanslı dalgalar yüzeye kadar seyahat edemeyip soğrulduğu için genellikle, yeraltı patlatmalarından kaynaklı titreşimlerden yerüstündeki yapılar pek etkilenmezler ve şikayetçi olmazlar.

Bu sebeple, patlatma titreşimleri denince literatürde yerüstü patlatmalarının etkilerini azaltmaya yönelik sayısız çalışmaya rastlamak mümkünken, yeraltı patlatma titreşimlerinin etkileriyle ilgili çalışma sayısı diğerine göre azdır (Raina vd. 2000; Zhongsheng vd. 2003; Lu, 2005;). Oysa ki, yüksek frekans içeriğine sahip yeraltı patlatma titreşim dalgaları, içerisinde yeraltı açıklığının oluşturulduğu kaya kütlelerini ve yeraltı yapılarını, özellikle tahkimatları ciddi şekilde etkilemektedir. Yeraltı patlatmalarında serbest yüzey sayısı az olduğu için, patlama sonucu ortaya çıkan titreşim dalgaları, büyük bir basınçla birlikte oluştukları için, tekrarlı yansımalarla tahkimat sistemine hasar verecektir.

Literatürde, yeraltı maden galerileri ve tünellerde tahkimatlara etki eden dinamik yük etkisi, bölgenin deprensellik özellikleri dikkate alınarak, ortalama bir deprem ivmesi girilmesi şeklinde olmakta ya da örselenme faktörünün "1" alınması şekliyle, tamamen göz ardı edilmektedir.

Bu çalışma, 114M566 no'lu "Deformasyona izin vermeyen tahkimat sisteminin geliştirilmesi" adlı Tübitak projesi kapsamında araştırılan ve patlatma kaynaklı dalgaların tahkimatlar üzerine olan dinamik etkilerinin tahmin edilmesi için geliştirilen parametrik yaklaşımı anlatmaktadır. Zira, zamana bağlı olarak değişen yük/gerilme durumları karşısında kayanın deformasyon özelliği belirlenirken ve tahkimat tasarımı buna göre yapılırken, patlatmalı kaya kazısı yapılan durumlar için, zamanın patlatma genlikleri ve frekans içeriği üzerindeki etkilerinin de modellenerek tahkimat

tasarımında kullanılacak modele veri olarak girilmesi, tasarımda çok daha hassas sonuçlar verecektir.

## 2 DENEYSEL VE TEORİK ÇALIŞMALAR

Adı geçen Tübitak Projesi çalışmaları süresince, SEYG (Soma Eynez Yeraltı Galerisi), SIYG (Soma Işıklar yeraltı Galerisi), Tunçbilek Yeraltı Kömür Galerisi (TYG), Amasya-Merzifon Yeraltı Kömür Galerisi (AMYG)'nde ve Sakarya Demiryolu Tüneli (SDT) ile Belkahve Karayolu Tüneli (BKT)'nde yeraltı patlatmaları, titreşim ölçer cihazlarla kaydedilmiş; yeraltı patlatmalarından kaynaklanan sismik etkiler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Özetle çalışmalara değinmek gerekirse; SEYG patlatmalarından 218 veri, SIYG'den 24, AMYG'den 18, SDT'den 12, BKT'den 5, TYG'den 10 olmak üzere toplamda 287 veri dinamik nümerik analiz için hazır hale getirilmiştir. Her bir verinin 3 bileşeni de ayrı ayrı zaman-genlik grafikleri oluşturulduğu için toplamda 861 veri elde edilmiştir.

Böylece yeraltı patlatmalarından kaynaklanan dalga biçimlerinin özellikleri ve yayılma mekanizmaları ile ilgili yeni bilgiler edinilmeye çalışılmış, bulgular "Effects of Blast Waves on The Support Systems in Underground Coal Mines" adlı bildiride toplanarak, CAMI 2016 Sempozyumunda, 6 Ekim\_2016'da İstanbul'da sözlü olarak sunulmuştur.

Kömürde yapılan patlatmalarda olduğu gibi, gecikme verilmeden yapılmak zorunda olunan patlatmalarda aynı anda devreye giren patlayıcı madde miktarı fazla olduğu için, ortaya çıkan titreşim genlikleri de yüksek olacaktır. Bu değerlerden görüleceği üzere, yüksek frekanslı dalgaların üremesinden dolayı, yüzeydeki yapılara hasar vermezken, yeraltındaki yapılara hasar verebilecektir. Bu sebeple, kesinlikle, dinamik analiz yapılırken, bölgenin deprenselliğine bakılarak bir ivme girmek yerine, sahaya özel patlatma verisi girilmeli sonucuna bir kez daha varılmıştır.

Projede gerçekleştirilen nümerik modelleme analizlerinde PLAXIS 3D yazılımı

$B = Ae^{-\alpha \Delta x}$  (1) kullanılmıştır. Bu

programın dinamik modülünde deprem, ani yük, patlatma gibi mühendislik çalışmalarının oluşturduğu titreşimlerle mühendislik analizleri gerçekleştirilebilmektedir. Proje kapsamında Belkahve Karayolu Tüneli, İmbat Madencilik Yeraltı Galerisi, Soma-Işıklar Yeraltı Kömür Ocağı Galerisi, Amasya-Merzifon Yeraltı Kömür Ocağı Galerisi, Sakarya Demiryolu Tüneli, Tunçbilek Yeraltı Kömür Ocağı sahalarında yapılan patlatmaların hepsinden alınan titreşim verileri üç yönde ayrı ayrı incelenmiş ve toplam 817 adet sismik kayıt, yazılımın dinamik modülüne veri olarak girilebilir hale getirilmiştir. Dinamik etkileri doğru modelleyebilmek için her saha için dinamik etki yaratan patlatma verileri, nümerik modele uygun hale getirilmiştir. Ancak, nümerik modele girilecek dinamik veri setini parametrik hale getirebilmek amacıyla aşağıda detayları anlatılan çalışma yapılmıştır:

## 2.1 Patlatma İle Oluşacak Sismik Enerjinin Kaynakta ve Hedef Noktada Hesaplanması

Patlatma ile ortaya çıkacak enerjinin kaynakta ve hedef noktada hesaplanması için aşağıdaki yol izlenmiştir:

(1) Ortamın soğrulma katsayısı  $\alpha$  hesaplanmıştır.

(2) Ortamın ölçek katsayısı  $k$  hesaplanmıştır.

Nümerik modele girilecek dinamik etki, parçacık hızı ya da ivme değeri olması durumunda ise aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

$$k = \frac{A^2_0}{m_0} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{\ln \frac{A_0}{B_0}}{x_0} \quad (2)$$

$$A = \sqrt{km} \quad (3)$$

$$B = Ae^{-\alpha x} \quad (4)$$

$$m_{\text{limit}} = \frac{(B_{\text{limit}}e^{\alpha x})^2}{k} \quad (5)$$

- $k$  : Hesaplanan ölçek katsayısı ( $\text{g}^2 \text{kg}^{-1}$ )
- $A_0$  : Örnek patlayıcının patlama noktasında ölçülen parçacık-ivmesi (g)
- $m_0$  : Örnek patlayıcının kütlesi (kg)
- $\alpha$  : Hesaplanan soğrulma katsayısı ( $\text{m}^{-1}$ )
- $B_0$  : Örnek patlayıcının hedef noktada ölçülen parçacık-ivmesi (g)
- $x_0$  : Patlama noktası ile örnek patlama hedef noktası arasındaki uzaklık (m)
- $A$  : Asıl patlayıcının patlama noktasında hesaplanan parçacık-ivmesi (g)
- $m$  : Asıl patlayıcının kütlesi (kg) (muhtemelen  $m > m_0$ )
- $B$  : Asıl patlayıcının hedef noktada hesaplanan parçacık-ivmesi (g)
- $x$  : Patlama noktası ile asıl patlama hedef noktası arasındaki uzaklık (m) (muhtemelen  $x > x_0$ )
- $m_{\text{limit}}$  : Asıl patlayıcının limit kütlesi (kg)
- $B_{\text{limit}}$  : Asıl patlayıcının hedef noktada seçilen limit parçacık-ivmesi (g)

Hesaplamalardaki işlem sırası aşağıdaki gibidir:

- 1) Örnek patlayıcı patlama noktasına yerleştirilir.
- 2) Güvenli ama olabildiğince yakın bir uzaklığa sismometre yerleştirilir. Kaya sıçramalarından korumak için sismometrenin üzeri kapatılabilir

(kapağın sismometreye değmemesi gerekir).

- 3) Patlama gerçekleştirilir ve patlama noktasındaki parçacık-ivmesi  $A_0$  (ya da parçacık hızı) ölçülür.
- 4) Formül-1'den ölçek katsayısı  $k$  hesaplanır.
- 5) Hedef noktadaki parçacık-ivmesi  $B_0$  ölçülür.
- 6) Formül-2'den soğrulma katsayısı  $\alpha$  hesaplanır.
- 7) Formül-3'den asıl patlayıcının patlama noktasındaki parçacık-ivmesi (ya da parçacık hızı)  $A$  hesaplanır.
- 8) Formül-4'den asıl patlayıcının hedef noktadaki parçacık-ivmesi (ya da parçacık hızı)  $B$  hesaplanır.
- 9) Formül-5'den asıl patlayıcının limit kütlesi  $m_{limit}$  hesaplanır.

Formüllerden anlaşılacağı üzere, bir tünel ya da yeraltı galerisinde yapılacak herhangi bir patlatmanın, istenilen hedef noktada nasıl bir sismik dalga oluşturacağını önceden kestirebilmek ve nümerik modele veri olarak girebilmek için, en az iki titreşim ölçer ile patlatmaya yaklaşılacak en yakın nokta ve ondan belirli mesafe uzaklıktaki noktada kaydedilen sismik dalga yardımı ile ortamın soğurganlığı ve ölçek katsayısı bulunur. Önce, uygulama sahasında 1kg'lık bir patlayıcı ile (birim patlayıcı) bir patlatma yapılır ve iki sismografla kaydedilir. Daha sonra, istenen miktarda patlayıcı kullanarak bir patlatma yapılır ve sismik dalgalar kaydedilir. 1kg lık patlayıcının yaratacağı sismik genlikleri, istenilen miktardaki patlayıcı ile çarparak bulunan teoik genlik ile gerçekte istenilen patlayıcının yarattığı genlik oranlanarak ölçek katsayısı elde edilecektir. Böylelikle, teorikte olması gerekenden ne kadar az enerji ortaya çıkacağı bilineceğinden, 1 kg'lık patlayıcının yaratacağı enerjiyi ölçek katsayı kadar arttırarak istediğimiz herhangi bir miktarda patlayıcının yaratacağı enerji bulunabilir.

## 2.2. Örnek Uygulama

Tablo 1, 16.06.2016 tarihinde İmbat yeraltı kömür madeninde yapılan patlatmadan kaynaklı ivmeleri göstermektedir. Toplam kullanılan patlayıcı miktarı 28.8 kg'dır.

Tablo 1. 16.06.2016 tarihinde İmbat yeraltı kömür madeninde yapılan patlatma kaynaklı ivmeler

Jeofon No:	Uzaklık (m)	İvme (g)
13638	31.5	1.564
12270	42.0	0.835
12269	52.5	0.742
14465	63.0	0.517

$$k = \frac{A_0^2}{m_0} = \frac{1.564^2}{28.8} = 0.0849 g^2 kg^{-1}$$

$$\alpha = \frac{\ln \frac{A_0}{B_0}}{x_0} = \frac{\ln \frac{1.564}{0.835}}{10.5} = 0.0598 m^{-1}$$

$$\alpha = \frac{\ln \frac{A_0}{B_0}}{x_0} = \frac{\ln \frac{1.564}{0.742}}{21} = 0.0355 m^{-1}$$

$$\alpha = \frac{\ln \frac{A_0}{B_0}}{x_0} = \frac{\ln \frac{1.564}{0.517}}{31.5} = 0.0351 m^{-1}$$

$$\alpha_e = (0.0598 \times 10.5 + 0.0355 \times 21 + 0.0351 \times 31.5) / (10.5 + 21 + 31.5) = 0.0393 m^{-1}$$

$$A = \sqrt{k m} = \sqrt{0.0849 \times 50} = 2.0603 g$$

$$B = A e^{-\alpha_e x} = 2.0603 e^{-0.0393 \times 100} = 0.0405 g$$

$\alpha_e$  : etken soğrulma katsayısı

Patlayıcı miktarı  $m = 50$  kg olduğunda, patlama noktasında 2.0603 g'lık bir ivme yaratır. Patlama noktasına  $x = 100$  m uzaklıkta  $B = 0.0405$  g'lık bir ivme oluşur. Bu ivmenin 0.025 g'ye düşmesi için 19 kg'ı geçmeyen bir patlama yapmak gerekir.

Kaynaktaki sismik enerjiyi parametrik olarak tahmin edebilmek için, tahkimat tasarımı yapılacak sahada, 1 kg'lık bir patlayıcının (toplamda) patlatılarak, titreşim ölçer cihazın satüre olmadan konabileceği en yakın mesafeye (örneğin 10 m) konan cihazla ve bu cihaza belli mesafe uzaklıkta aynı hat üzerine konmuş en az bir başka cihazla sismik kayıt alınması gereklidir. Daha sonra, o sahadaki kazı çalışmalarında uygulanan rutin patlatma düzenindeki toplam miktar patlayıcı patlatılarak yine aynı şekilde ölçüm alınır. 1 kg patlayıcının yaratacağı enerjiyi kullanarak, istenen miktarda patlayıcının yaratacağı enerji teorik olarak hesaplanır. Gerçekte yapılan grup patlatması ile oluşan enerji de ölçülür ve teorik olarak hesaplanana göre oranlanır. Böylece enerjinin olması gerekenden ne kadar azaldığı ortaya çıkar ki bu kısım bizim cihazla ölçtüğümüz, elastik kısımdır. Geri kalan enerji ise, kayayı kırmada kullanılan plastik enerjidir ve tahkimat tasarımında kullanılması gereken işte enerjinin bu bölümüdür. Böylece, o saha için, istenen miktarda patlayıcının kaynaktaki plastik enerjisi ve istenen hedef noktadaki elastik enerjisi hesaplanabilecektir. Ortam değiştiğinde, yine 1 kg'lık patlayıcı kullanılarak bir pilot patlatma yapılmalı ve veriler tekrar oluşturulmalıdır.

Nümerik modele patlatmalara ait bir zaman-serisi verebilmek için yapılan çalışmalarla elde edilen zaman serileri oluşturularak, ascii.txt formatta verilmiştir.

Çalışmanın uygulama kısmında, iki adet txt dosyası kullanılmıştır. İkisi de İmbat yeraltı kömür madeninde, kaynaktan 20 m uzaklıkta alınmış sismik kayıtlardır. Birinde toplam patlayıcı 1 kg, diğesinde 17 kg'dır. Patlatma yerleri aynıdır. 1 kg patlayıcıdan kaynaklanan sismik sinyal 17 kere toplanarak 17 kg'lık patlayıcının yaratacağı sinyal üretilmiş, sonra da gerçek 17 kg lik patlatma sinyali ile karşılaştırılmış, aradaki fark kullanılarak 1 kg'lık patlayıcı sinyalinin istenilen miktarda patlayıcının yaratacağı teorik sinyal üretilmiştir. Bu sinyallerin üretilebilmesi için bir program kodu yazılmıştır. Energy.for adlı fortran programı çalıştırıldığında oluşan "Energy.EXE" programı 3 soru sormaktadır:

1) Big-charge filename (no TXT) :

Örneğin: 17kgpatlayici.TXT (İngilizce harflerden oluşmalı)

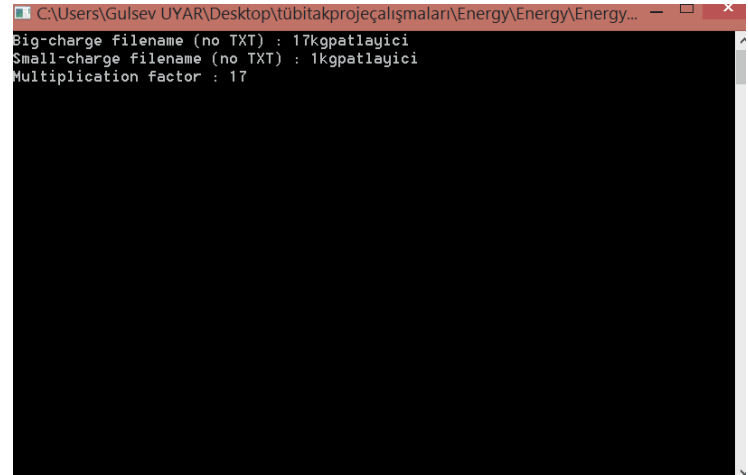
2) Small-charge filename (no TXT) :

Örneğin: 1kgpatlayici.TXT (İngilizce harflerden oluşmalı)

3) Multiplication factor :

Örneğin: 17

Şekil 1, bu ekranı göstermektedir.



Şekil 1. Energy.EXE programı çalıştırıldığındaki ekran görüntüsü

"Energy.EXE" programı 3 yeni dosya yaratır:

1) " maxi" dosyası

Örneğin: 1kgpatlayici\_maxi.dat

"1kgpatlayici.TXT" dosyasındaki PPV, "17kgpatlayici.dat" dosyasındaki PPV (14.10 mm/s) ile eşitlenmiş halde.

2) " \_multi" dosyası

Örneğin: 1kgpatlayici\_multi.dat

"1kgpatlayici.TXT" dosyasındaki PPV, Multiplication Factor (17) ile çarpılmış halde.

3) "Rapor.TXT" dosyası

Big-charge enerji : Transversal Vertical Longitudinal

Small-charge enerji: Transversal Vertical Longitudinal

Maximum energy: Transversal Vertical Longitudinal

Multiplier enerji: Transversal Vertical Longitudinal

Yukarıdaki enerji miktarlarından,

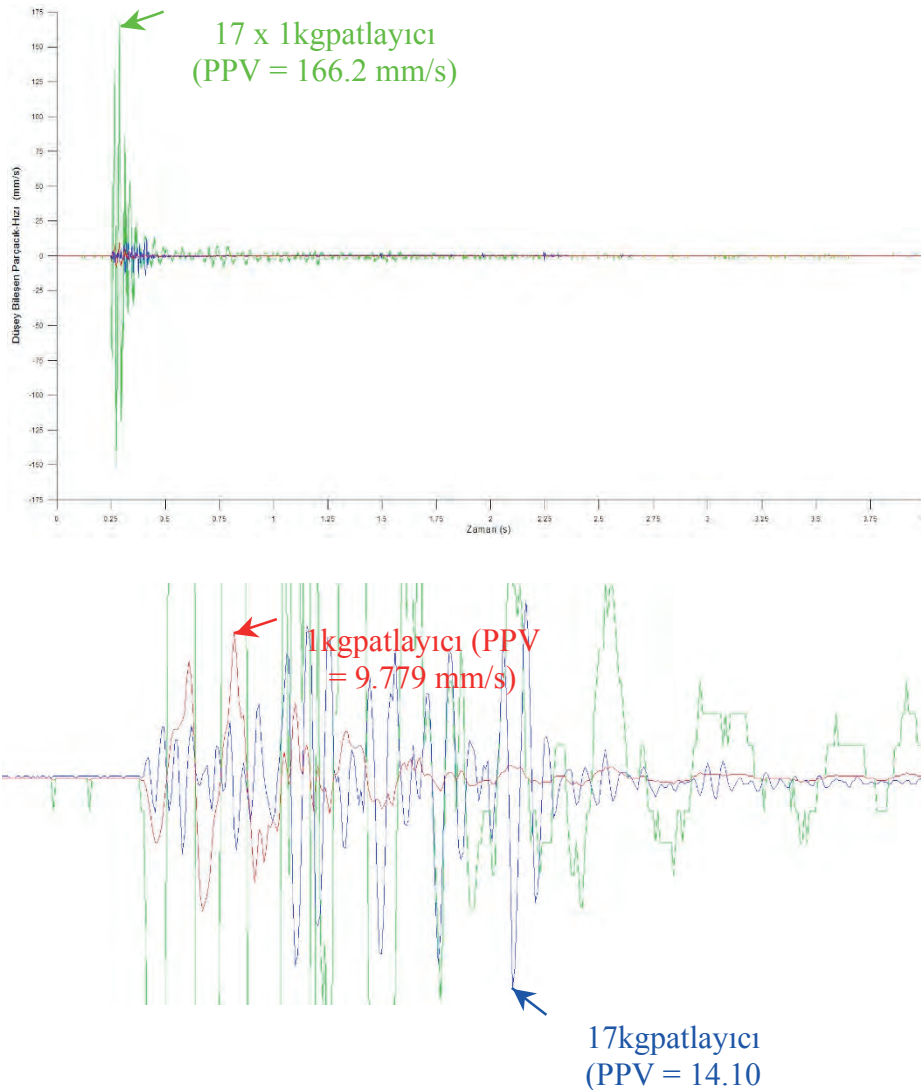
$$m_{\text{limit}} = \frac{(B_{\text{limit}} e^{\alpha_e x})^2}{k} = \frac{(0.025 e^{0.0393 \times 100})^2}{0.0849} = 19 \text{ kg}$$

enerjinin ne kadarının (yüzde olarak) elastik dalga yayılımına, ne kadarının (yüzde olarak) plastik deformasyona harcaıldığı hesaplanabilir.

Aşağıdaki şekil 2’de aynı noktada, saat 14:24:42’de patlatılan 17 kg (mavi, PPV = 14.10 mm/s), saat 15:06:38’de patlatılan 1 kg (kırmızı, PPV = 9.779 mm/s) ve kuramsal olarak üretilen 17 x 1 kg (yeşil, PPV = 166.2 mm/s) patlamaya ait Düşey-Bileşen Parçacık-Hızı kayıtları görülüyor.

17 kg (mavi) patlama, ortam henüz bakirken (yorulma olmadan) yapıldığı halde

genliği, 1 kg (kırmızı) patlamanın genliğinden sadece 1.44 kat büyüktür. Kuramsal olarak üretilen 17 x 1 kg (yeşil) patlamanın genliği, 1 kg (kırmızı) patlamanın genliğinden 17 kat büyüktür. Buradaki varsayımımız, ortamın lineer davranış (linear behaviour) gösterdiğidir (enerjinin tamamı elastik dalga yayılımına harcanıyor). Genlik büyümesinin 17 kat yerine, sadece 1.44 kat olması, ortamda lineer olmayan bir davranışın (non-linear behaviour) hakim olduğunu gösteriyor. Enerjinin büyük bir kısmı plastik deformasyona harcanıyor.



Şekil 2. 1 kg, teorik 17kg ve gerçek 17kg patlayıcının yarattığı parçacık hızı-zaman grafikleri.

### 3 SONUÇ

Bu bildiri, “DEFORMASYONA İZİN VERMEYEN TAHKİMAT SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ” adlı Tübitak Projesi (114M566) kapsamında yapılan patlatma ile ilgili çalışmaların sonuçlarını içermektedir.

Bilindiği üzere tahkimat analizi tünel tasarımı için anahtar konulardan biridir. Nümerik modelleme yöntemleri son dönemde, tahkimat tasarımında çokça kullanılmaktadır. Adı geçen Tübitak Projesinde, diğer nümerik modelleme ile yapılan tahkimat tasarımı yöntemlerinden farklı olarak tahkimat analizinde zamana bağlı davranış incelenmiştir. Ayrıca, bu bildiriye de konu olan, patlatma kaynaklı oluşan dinamik etkiler, genel bir bölgesel devrem ivmesi şeklinde değil; patlatmaların yapıldığı yeraltı galerisi ya da tüneller için paramerik bir yaklaşımla elde edilen sismik dalgalar şeklinde nümerik modele dinamik etki-veri seti olarak girilebilmiştir. Böylece, tahkimat performansının sorgulandığı nümerik model çalışmalarında, tahkimatlar üzerinde ciddi etkiler yaratan dinamik etkilerden en önemlisi olan patlatma titreşimleri, daha doğru modele girilebilmektedir.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 114M566 no’lu Tübitak projesi ile desteklenmiştir. Proje yürütücüsü Prof. Dr. C. Okay Aksoy’a teşekkürlerimizi bildiririz. Ayrıca saha çalışmalarını gerçekleştirdiğimiz İmbat Madencilik, Soma Kömürleri, TKİ GLİ yöneticileri ve çalışmalara yardımcı olan mühendislerine teşekkür ederiz.

### KAYNAKLAR

Aksoy C.O. *Deformasyona İzin Vermeyen Tahkimat Sisteminin Geliştirilmesi*, (2014-2017), Tübitak Projesi 114 M566.  
Aksoy C.O., Uyar G.G., Fişne A., Yaman E., Gungor O, Şenol D., *Effects of Blast Waves On The Support Systems In*

*Underground Coal Mines*, Swemp/Camı 2016, October, Istanbul.

Raina A.K., Charaborty A.K., ramulu M., Jethwa LJ, 2000. *Rock mass damage from underground blasting , a literature review, and lab-and full scale tests to estimate crack depth by ultrasonic method*, International journal for blasting and Fragmentation, Fragblast, Vol. 4, Issue2, 103-125.

Zhongsheng T., Xiaolin Y., Mengshu W. 2003. *Effect of blast in double line tunnel on existing tunnel*, Chinese Journal of rock, Vol. 3, issue 2, 23-29.

LU Y. 2005. *Underground blast induced ground shock and its modelling using artificial neural network*. Computers and Geoscience, 164-178. Vol 32(3),

# Eti Bakır Küre Yeraltı Ocağında Cevher İçinde Gerçekleştirilen Galeri Atımlarının Verimliliğinin İncelenmesi

## *Investigation of the Efficiency of Ore Face Blasting Operations in Eti Bakır Küre Underground Mine*

F. R. Ünal, T. Hüdaverdi

*İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul*

**ÖZET** Bu çalışmada Eti Bakır Küre Yeraltı Maden Ocağı'nda cevher içinde gerçekleştirilen üretim atımları incelenmiştir. Yapılan uzun süreli incelemeler ile patlatma tasarım parametreleri titizlikle ölçülmüştür. Yeraltında her atım sonrası parçalanmanın tespiti için yığından ölçekli fotoğraflar alınmıştır. Alınan fotoğraflar görüntü işleme yazılımıyla analiz edilmiş ve her atım sonrası yığının parça boyut dağılımı tespit edilmiştir. Ayrıca yığındaki ince ve iri boyutlu malzeme miktarı, ortalama parça boyutu, üniformite indeksi belirlenmiş ve yorumlanmıştır. Ek olarak patlatma tasarım parametreleri ve ateşleme düzeni özel bir yazılıma aktarılarak ateşleme simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Ateşleme konturları çizilmiştir. Patlama sırasında oluşacak enerji dağılımı incelenmiştir. Bilgisayar simülasyonları ve görüntü işleme tekniğinin Eti Bakır Küre Yeraltı Ocağı'nda patlatma faaliyetlerinin optimize edilmesinde büyük faydası olacağı düşünülmektedir.

**ABSTRACT** This study focuses on investigation of the face blasting operations performed in Eti Bakır Küre underground mine. Long term site measurements were performed to determine applied blast design parameters. Scaled images were captured from muck piles after each blast. The images were analyzed by computer software and particle size distributions of the muck piles were determined. Additionally, the proportions of the fine and coarse material, mean fragment size and uniformity index were evaluated. Blasting simulation was performed considering blast design parameters and initiation sequence by a special software. The initiation contours were created. Explosive energy distribution was examined. It is concluded that computer simulations and image analysis technique are useful tools for optimization of blasting operations in Eti Bakır Küre underground mine.

## 1 GİRİŞ

Delme patlatma uygulamaları yani kontrollü patlayıcı kullanımı gaz ve şok enerjisinin doğru yönlendirilmesiyle, dayanımı yüksek sert kayaçları parçalamayı amaçlar. Madencilik ve tünelcilikte kullanılan delme patlatma uygulamalarının başlangıcı olarak 17. yüzyıl ortalarında barut kullanılmaya başlanması söylenebilir. Kayaç özelliklerinin getirdiği zorunluluğun yanı sıra yatırım

malijetinin diğer yöntemlere göre daha düşük olması, değişen üretim planlarına adaptasyon kolaylığı delme patlatma uygulamalarını tercih edilebilirlik olarak öne çıkarmaktadır.

Patlatma verimliliği açık ocak madenciliğinde olduğu kadar yeraltı madencilik çalışmalarında da büyük önem taşımaktadır. Patlatma sonrası yığının boyut dağılımı yükleme, nakliyat operasyonlarını



ve kırıcı çalışma performansını doğrudan etkilemektedir (Hüdaverdi, Akyıldız, 2015). Parça boyutunun optimum olmasının istenmesine ek olarak, yeraltı patlatmalarında belirlenen ilerlemenin sağlanması ve aşırı sökülme probleminin minimize edilmesi de hedeflenmektedir. Ayrıca kullanılan birim patlayıcı maliyetinin düşük tutulması gerekliliği vardır.

Bu çalışma Kastamonu Küre’de bulunan Eti Bakır maden işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Kastamonu Küre Yeraltı Maden İşletmesi çalışmaya hem açık ocak hem de yeraltı üretimiyle başlamıştır. Günümüzde açık ocak üretimi tamamlandığından sadece yeraltı işletmesi olarak devam edilmektedir ve yılda 1.100.000 ton tüvenan bakır cevheri, 110.000 ton bakır konsantresi ve 400.000 ton pirit konsantresi üretimi yapılmaktadır. Ocak üç bölüme ayrılmaktadır, bunlar Aşıköy-1, Aşıköy-2 ve Bakıbaşa ocakları olarak adlandırılmaktadır. Aşıköy-1 ve Aşıköy-2 ocaklarında üretim tamamlanmıştır. Bildiri kapsamındaki patlatma ölçümleri Bakıbaşa ocağında gerçekleştirilmiştir.

Küre formasyonuna ait serpantin, gabro-diorit ve bazalt oluşumlarından, bakır ve pirit cevherinin konumundan dolayı çoğunlukla bazalt içerisinde çalışılmaktadır. Bazalt bölgelerinde kloritleşme, killeşme, serizitleşme, silisleşme, karbonat ve kuvars damarları ile kısım kısım dissemine pirit, spekülrit ve manyetit görülmektedir. Tektonik kuşak olarak, bölge Ponçik Tektonik Kuşağı’nın batı bölümünde yer almaktadır. Bölgedeki tektonizma, yatakta kıvrımlanma olarak gözlenmektedir ve kıvrım eksenleri kabaca Kuzey-Güney yönlüdür (Demir ve diğerleri, 2015).

Bu çalışmada arakatlı göçertme yöntemi ile yapılan üretim sırasında cevher içinde açılan galerilerde gerçekleştirilen ayna atımlarının analizi yapılmaktadır. Bildirinin bundan sonraki bölümlerinde öncelikli olarak patlatma tasarımı detaylı olarak verilmiştir. Daha sonra ateşleme düzeni incelenmiş, anlık şarj ve patlayıcı enerji dağılımı hakkında bilgi verilmiştir. Görüntü işleme yazılımı yoluyla parçalanmanın analizi gerçekleştirilmiştir ve detaylı olarak

yorumlanmıştır. Son olarak parça boyut dağılımı ve üniformite indeksi analiz edilmiştir.

## 2 TEMEL PATLATMA TASARIMININ İNCELENMESİ

İşletmede üretim yöntemi olarak arakatlı göçertme yöntemi uygulanmaktadır. Yöntem damar kalınlığının çok düşük olmadığı rezervlerde uygulanabilmektedir. Yan kayacın dayanımının yüksek olması uygulamayı kolaylaştıran parametrelerin başında gelmektedir. Genellikle metal madenlerinde uygulandığı söylenebilir. Bunun sebebi genel olarak da metal madenlerinde cevher yatağının yüksek eğimli olmasıdır. Arakatlı göçertme yönteminde öncelikle damar içinde paralel arakat oluşturma amaçlı galeriler açılır. Daha sonra katlar arası patlatma yoluyla cevher üretimi gerçekleştirilir.

Kastamonu Küre Yeraltı Maden İşletmesi’nde hem arakatlarda hem de galerilerde delme patlatma uygulanmaktadır. Aynı zamanda bu çalışmalar cevher içinde gerçekleştirildiği gibi, hazırlık işleri kapsamında yantaş (pasa) içerisinde de olabilir. Bu bildiri çalışması kapsamında sadece cevher aynalarında gerçekleştirilen atımlar incelenmiştir.

### 2.1 Delik Düzeni

Yeraltı madenciliğinde delme patlatma uygulamaları dâhilinde galeri atımlarında bir adet serbest yüzey vardır, bu durum kayaç dayanımını arttırdığından ilerleme mesafesi kısıtlıdır (Oloffson, 1988). Normal şartlarda kesit genişliğinin üçte ikisinden fazla ilerleme hedeflenmemelidir (Erkoç, 1990). Dış etkenler, üretim hedefleri ve kayaç yapısı da göz önüne alınarak 6,70 m x 4,70 m boyutlarında cevherde açılacak galeri için uygun patern planlanmıştır. Yapılan hesaplamalarda paralel orta kesme yönteminin çalışmaya en uygun yöntem olacağı görülmüştür. Küre ocağında delik boyu 4,00 m olarak belirlenmiştir ve 3,50 m üzerindeki ilerleme mesafeleri başarılı kabul edilmektedir. Delme işlemleri Atlas Copco marka Boomer-282 model jumbo delicilerle

yapılmaktadır. Delik çapı tarama delikleri için 48 milimetredir serbest yüzey oluşturmak için delinen orta çekme delikleri 102 milimetredir.

## 2.2 Temel Patlatma Tasarımı

Kastamonu Küre Yeraltı Maden İşletmesi'nde patlatma işlerinde ANFO ve 36 mm x 420 mm ebatlı emülsiyon kartuş temel patlayıcı olarak kullanılmaktadır. Aşırı sökümü önlemek için duvar deliklerinde düşük çaplı (19 mm) kontur patlayıcı kullanılmaktadır. Ateşleme, NONEL (elektriksiz) kapsül, infilaklı fitil (10gr) ve elektrikli kapsül ile gerçekleştirilmektedir. Kullanılan patlayıcıların özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan patlayıcıların özellikleri

	Emülsiyon Kartuş Patlayıcı	ANFO	Emülsiyon Kontur Patlayıcı
İdeal İnfilak Hızı VOD (m/sn)	5700	4796	5485
Enerji (kj/kg)	4200	3810	2980
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1,16	0,80	1,10
İnfilak Isısı (K)	2852	3059	2120
Gaz Hacmi (lt/kg)	872	978	905
Kartuş Ebatı (mm)	36*420	-	19*735
Kartuş Ağırlığı (gr)	500	-	365-375

Kullanılan NONEL gecikmeli kapsüllerin numaraları 1'den başlayıp 23 numaraya kadar gitmektedir. Bu gecikmeler 1-6 numaraları arası 100 ms, 6-13 numaraları arası 200 ms, 13-23 numaraları arası 500 ms artarak gitmektedir. 1-7 numaralı gecikmeli kapsüller tahmin edileceği üzere serbest

yüzey oluşturmak için ilk patlatılan orta çekme deliklerinde kullanılmaktadır. 16 numaralı gecikmeli kapsüller çevre deliklerinde kullanılırken, 18 numaralı gecikmeli kapsüller de tavan deliklerinde kullanılmaktadır. Taban delikleri en son patlatılan deliklerdir ve 19 – 23 numaralı gecikmeli kapsüllerle patlatılmaktadırlar.

Şekil.Ek.1'de temel patlatma tasarımı ve deliklerin ateşleme sırası gecikmeli kapsüllerin numaralarıyla beraber gösterilmektedir.

Planlanan paternde toplam 72 delik delinmiştir. Deliklerin 3 tanesi boş orta çekme delikleridir. 19-23 numaralı gecikmeli kapsüllerle patlatılan taban deliklerinde 8'er adet emülsiyon patlayıcı, 16 numaralı gecikmeli kapsüllerle patlatılan çevre deliklerinde dipte 1'er adet yemleme amaçlı dinamit ve 4'er adet kontur kartuş patlayıcı bulunmaktadır. Tarama, orta çekme ve tavan deliklerinde 1 adet emülsiyon patlatıcı yerleştirilmekte ve delik ağzında 0,30 m boşluk kalacak kadar ANFO ile dolum yapılmaktadır. Çevre deliklerinde kontur patlayıcı kullanılmasının sebebi enerji daha düşük tutularak aşırı sökümün önlenmesidir. Ayrıca ANFO'nun suya dayanıklılığı çok düşük olduğu için, aynada su geliri olması durumunda, tarama, orta çekme ve tavan deliklerinde de 8'er adet emülsiyon kartuş patlayıcı kullanılabilir.

Ayna atımlarında yüzey alanı 30,038 m<sup>2</sup> ve delik boyu 4,00 m olduğundan patlatılacak hacim 120,152 m<sup>3</sup>'tür. Tablo 1'de verilen teknik özelliklerine göre hesaplamalar yapıldığında; 9 taban deliğinde toplam 36,00 kg, 8 adet çevre (kontur) deliklerinde toplam 15,84 kg ve 11 adet tavan deliği, 12 adet orta çekme deliği ve 29 adet tarama deliklerinde toplam patlayıcı miktarı 245,44 kg'dır.

Buna göre:

Kullanılan toplam patlayıcı = 36,00 kg + 15,84 kg + 245,44 kg = 297,28 kg'dır.

Özgül şarj 1 m<sup>3</sup> kayacı patlatmak için kullanılan patlayıcı miktarıdır ve kullanılan patlayıcı miktarının hacme bölünmesiyle bulunur:

Teorik özgül şarj = 297,28 kg / 120,152 m<sup>3</sup> = 2,47 kg/m<sup>3</sup>'dir.

Çalışmalar sırasında ilerlemeler kaydedildiğinde gerçekte ilerlemenin 4,00 m olmadığı, ortalama ilerlemenin 3,50 m olduğu görülmüştür. Gerçek ilerleme hacmi 105,133 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

Buna göre;

Pratik özgül şarj = 297,28 kg / 105,133 m<sup>3</sup> = 2,83 kg/m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmektedir.

Ayna atımlarında patlatmanın ilk başladığı yer olan orta çekme atım paterninin en önemli kısmıdır. Serbest yüzeyi başarılı bir şekilde oluşturmak için çok dikkatli çalışılmalıdır. Orta çekme bölgesel özgül şarjın en yüksek olduğu bölümdür. Ocakta uygulanan paternde 3 boş ve 12 dolu delikten oluşan orta çekme 1,70 m genişliğinde ve 1,60 m yüksekliğinde baklava şeklindedir. Orta çekme yüzey alanı 1,36 m<sup>2</sup>'dir. Patlatılan hacim (kübj) teorik olarak 5,44 m<sup>3</sup>, pratik olarak 4,76 m<sup>3</sup> şeklinde gerçekleşmektedir. Kullanılan patlayıcı delik başına 4,72 kg'dır ve toplam patlayıcı 56,64 kg'dır.

Buna göre;

Orta çekme için teorik özgül şarj  
= 56,64 kg / 5,44 m<sup>3</sup> = 10,41 kg/m<sup>3</sup>,

Orta çekme için pratik özgül şarj  
= 56,64 kg / 4,76 m<sup>3</sup> = 11,90 kg/m<sup>3</sup>'dür.

Galeri patlatmalarında söküm ve parçalanmanın nispeten zor olduğu kısım taban delikleridir. Şekil.Ek.1'de verilen paternde 0,85 m delikler arası mesafe ve 6,70 m galeri genişliği olduğundan taban deliklerinin patlattığı alan 5,44 m<sup>2</sup>'dir. Taban deliklerinin kırdığı hacim teorik olarak 21,76 m<sup>3</sup>, pratik olarak da 19,04 m<sup>3</sup>'dür. Buna göre:

Taban deliklerinde teorik özgül şarj  
= 36,00 kg/m<sup>3</sup> / 21,76 kg = 1,65 kg/m<sup>3</sup>,

Taban deliklerinde pratik özgül şarj  
= 36,00 kg/m<sup>3</sup> / 19,04 kg = 1,89 kg/m<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir.

### 3 PATLATMA TASARIMININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ

Patlatma tasarım parametreleri ve ateşleme düzeni JKSimBlast yazılımına aktararak ateşleme simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Ateşleme konturları oluşturulmuştur. Patlama sırasında oluşacak enerji dağılımı incelenmiştir. Yazılım özellikle patlatma

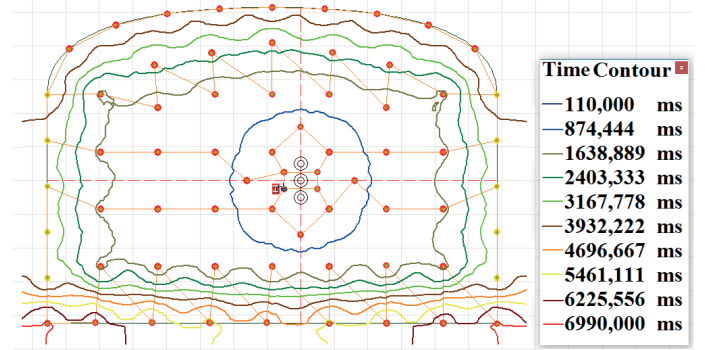
simülasyonu amacıyla birçok madende başarıyla kullanılmakta, ateşleme simülasyonun yanı sıra özellikle deliklerin ateşleme zamanının hassas olarak tespitinde kullanılmaktadır (JKTech, 1998).

#### 3.1 Ateşleme Tasarımının İncelenmesi

JKSimBlast programında işletmede uygulanan ateşleme paterni çizilmiştir. Deliklere patlayıcılar ve gecikmeler eklenerek atımın simülasyonu oluşturulmuştur. Aşağıda Şekil 1'de ateşleme zaman konturları görülmektedir.

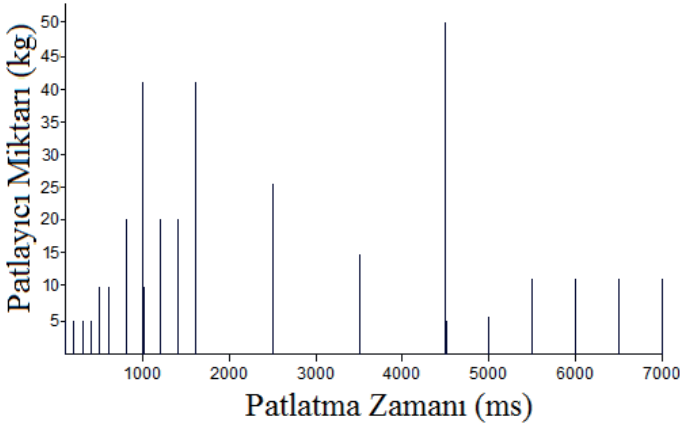
Şekil 1. Ateşleme zaman konturları

Şekilde görüldüğü üzere ilk patlayan delikler



orta çekme delikleridir. Ateşleme konturlarında görüldüğü gibi en son patlayan delikler 23 numaralı gecikmeli kapsüllerin bağlı olduğu köşe taban delikleridir. Son zaman konturu 6990 ms konturudur ve atım 7000 ms'de tamamlanmaktadır.

Simülasyon oluşturularak inceleme yapıldığında atım boyunca anlık şarjın değişimini izlemek mümkündür. Aşağıda sunulan Şekil 2'de anlık şarj değişimi görülmektedir.



Şekil 2. Atım süresince anlık şarjın değişimi

En yüksek anlık şarj 18 numaralı gecikmeli kapsüllerin kullanıldığı tavan delikleridir. Atım başladıktan sonra 4500 ms'de 11 delik birlikte patlamaktadır. Buna göre maksimum anlık şarj  $4,72 \text{ kg/delik} \times 11 \text{ delik} = 51,92 \text{ kg}$ 'dır. İkinci en yüksek anlık şarj 1000 ms ve 1600 ms'de gerçekleşmektedir. Aynı anda patlayan delik sayısı 8'dir. Bu delikler tarama delikleridir ve 8 ve 11 numaralı kapsüller ile patlatılmıştır. İkinci en yüksek anlık şarj  $4,72 \text{ kg/delik} \times 8 \text{ delik} = 37,76 \text{ kg}$  olarak gerçekleşmektedir.

### 3.2 Enerji Dağılımının Analizi

Enerji dağılımının izlenmesi patlayıcı enerjisinin verimli olarak kullanılması açısından önem arz etmektedir. Ek olarak atım öncesi enerji dağılımı incelenirse aşırı sökülme problemi konusunda bir ön kestirimde bulunulabilir. Şekil.Ek.2'de patlayıcı enerji dağılımı gösterilmiştir.

Şekil.Ek.2'de enerji dağılımı  $\text{Mj/m}^3$  olarak sunulmaktadır. En yüksek enerji beklenildiği üzere orta çekme deliklerinin çevresinde açığa çıkmaktadır. Kırmızı renkle gösterilen bu kısımda  $60 \text{ Mj/m}^3$ 'ün üzerinde enerji açığa çıkmaktadır. Atım sonrası yığındaki ince boyutlu malzemenin özellikle bu bölgeden kaynaklandığı düşünülebilir. Aşırı sökülmenin önlenmesi için kontur patlayıcı kullanılan çevre deliklerinde enerji yoğunluğu  $20 \text{ Mj/m}^3$ 'ün altına düşmektedir. Yığındaki iri parçaların enerjinin  $40 \text{ Mj/m}^3$ 'ün altında olduğu yeşil renkle gösterilen tarama delikleri bölgesinden geldiği düşünülebilir. Taban delikleri

kısımında  $20-40 \text{ Mj/m}^3$  civarında bir enerji yoğunlaşması söz konusudur. Genel olarak patlatma tasarımının yapısından dolayı üst tarama delikleri çevresi açığa çıkan enerji sağ ve sol tarama delikleri civarında açığa çıkan enerjiden yüksektir.

### 4 PARÇALANMANIN ANALİZİ

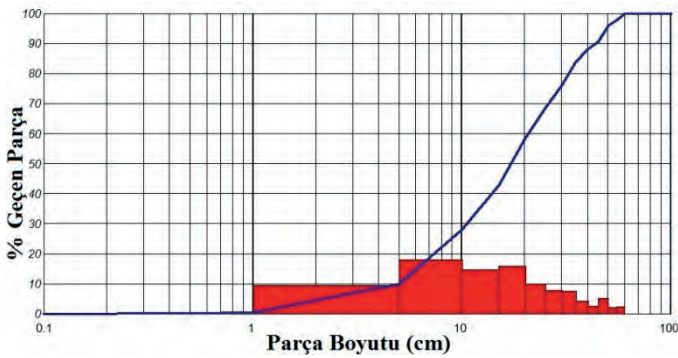
Görüntü işleme yazılımları özellikle son yıllarda açık ocaklarda sıklıkla parçalanma verimliliği tespiti için kullanılmaktadır. Çünkü görüntü işleme yazılımları parça boyutunun tayini için en efektif ve hızlı yöntemdir. Birden fazla görüntü hızlı bir şekilde analiz edilebilir ve üretimin durdurulmasına, kesintiye uğratılmasına gerek duyulmaz (Maerz ve diğerleri 1996). Mesela açık ocakta bir yığın komple elenmesi mümkün değildir ama ölçekli olarak çekilmiş bir yığın fotoğrafından tüm yığın parça boyutu tespit edilebilir. Yeraltında da görüntü işleme yazılımlarının kullanımı gittikçe artmaktadır. Açık ocak uygulamasına benzer olarak eğimli yığından fotoğraf alınırken eğim yönünde iki farklı ölçeğin konulması gerekmektedir. Latham ve diğerleri (2003) tarafından görüntü işleme amacıyla kullanılan yazılımlar ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada WipFrag görüntü işleme yazılımı kullanılmıştır. WipFrag atım sonrası yığından alınan ölçekli fotoğraflar üzerinden parça boyutu analizi yapmaktadır ve analiz sonucu olarak sayılan parça sayısı, parça boyutu ve üniformite indeksi ile ilgili istatistiksel verileri vermektedir. Aşağıda Şekil 3'de 560K01 galerisinde gerçekleştirilmiş cevher aynası atımı sonrası alınmış ölçekli fotoğraf görülmektedir.



Şekil 3. Yığından alınan ölçekli fotoğraf

Yukarıda verilen fotoğrafın analiz sonucu aşağıdaki grafikte (Şek.4) verilmiştir. Yığın ortalama parça boyutu 17,35 cm'dir ve üniformite indeksi 1,44 seviyesindedir. Malzemenin %90'ının geçtiği elek açıklığı (D90) 44,04 cm'dir. 44,04 cm'in üzerindeki malzeme bu yığın için iri boyutlu malzeme olarak nitelenebilir. Maksimum ölçülen parça boyutu 55,28 cm'dir. Malzemenin %10'unun geçtiği elek açıklığı (D10) 5,02 cm'dir ve bu bize ince boyutlu malzemenin ebatlarını verir. Malzemenin %0,47'si 1 cm'nin, % 9,94'ü de 5 cm'nin altındadır.



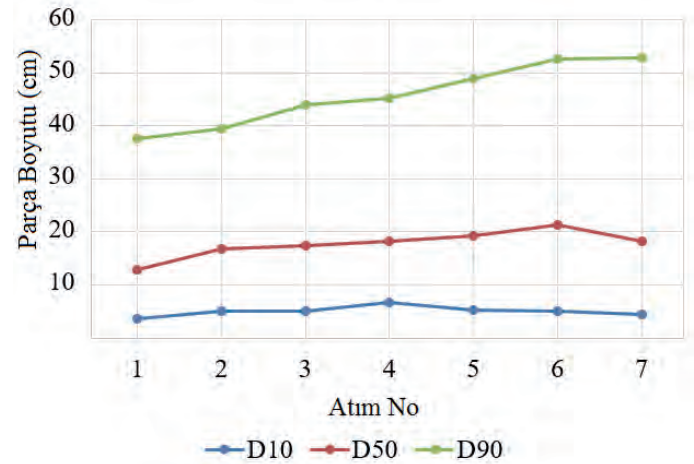
Şekil 4. Örnek atıma ait parça boyut dağılım grafiği

Yukarıda örnek verilen parçalanma analizi cevher aynalarında yapılan 7 farklı atım için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Bu atımlarda kullanılan patlayıcı miktarları, delik sayısı ve ilerleme miktarları aşağıdaki Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Parçalanma analizi gerçekleştirilen atımlara ait temel bilgiler

Atım No	1	2	3	4	5	6	7
Emülsiyon (kg)	80	70	80	220	70	80	60
ANFO (kg)	200	225	225	0	225	200	175
Kontur (kg)	10	10	10	10	10	10	10
S Patlayıcı Miktarı (kg)	290	305	315	230	305	290	245
Delik Sayısı	71	72	79	68	72	68	60
İlerleme Miktarı (m)	3,8	3,4	3,2	3,8	3,4	3,6	3,7

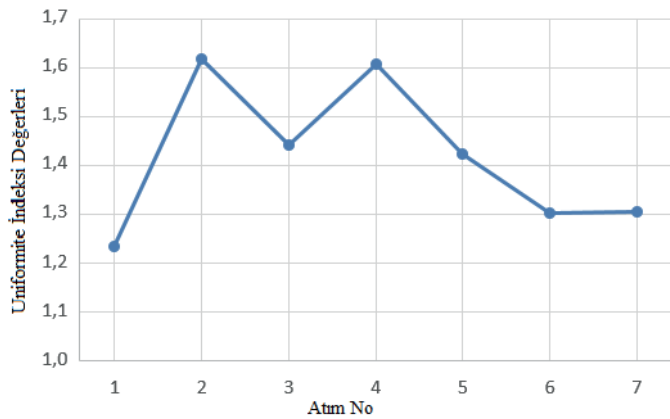
İncelenen atımlardan 4 numaralı atımda kullanılan patlayıcı miktarlarına bakıldığında ANFO kullanılmadığı görülmektedir. Daha önce anlatıldığı gibi su geliri olan aynalarda, ANFO yerine sadece 8'er adet emülsiyon patlayıcı kullanılabilir. Tablo 2 sunulan 7 ayrı atıma ait ölçülen parçalanma değerleri Şekil 5'de sunulmuştur. Ortalama parça boyutu olarak ifade edilen (D50), malzemenin %50'sinin geçtiği elek açıklığıdır. Malzemenin %10'unun geçtiği elek açıklığı (D10) ince boyutlu malzeme miktarını irdelemek için kullanılabilir. Ek olarak Şekil 5'de malzemenin %90'ının geçtiği elek açıklığı (D90) da gösterilmiştir.



Şekil 5. Analizi yapılan atımların karakteristik boyutları

Bu 7 atımda ortalama D50 değeri 17,72 cm olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca ince boyutlu malzeme miktarı için incelediğimiz D10 boyutunun ortalaması 5,05 cm'dir. D90 boyutunun ortalama değeri 45,81 cm olduğu hesaplanmıştır. En yüksek D50 değeri 6 numaralı atımda 21,34 cm olarak hesaplanmıştır. En yüksek D90 değeri 7 numaralı atımda 52,84 cm olarak bulunmuştur. Buna karşın en yüksek D10 boyutu 4 numaralı atımda 6,70 cm olarak elde edilmiştir.

Üniformite indeksi parça boyut dağılım eğrisinin eğimidir. Üniformite indeksi artıkaça boyut dağılım eğrisi daha dikleşmektedir. Yığın içerisindeki parçaların boyutları birbirine daha yakın hale gelmektedir. Bu durum özellikle yükleme ve kırıcı verimliliğinde artış sağlamaktadır. Şekil 6, 7 atım için üniformite indeksinin (n) değişimini göstermektedir. Üniformite indeksi ortalaması 1,42 olarak gerçekleşmiştir ve en yüksek değer 1,62 değeri ile 2 numaralı atımda elde edilmiştir. En düşük üniformite indeksi değeri 6 numaralı atım için 1,30'dur. Üniformite indeksi değeri 1,30 ile 1,62 arasında değişmektedir.



Şekil 6. Atımlar için hesaplanan üniformite indeksi (n) değerleri

## 5 SONUÇ

Küre ocağında incelenen örnek bir atım bilgisayar yazılımıyla değerlendirilmiş ateşleme düzeni ve enerji dağılımı hassas olarak belirlenmiştir. Anlık patlayan şarjın ayrıntılı olarak değerlendirilmesi özellikle yer sarsıntısı sorunlarının çözümünde fayda

sağlayacaktır. Burada en yüksek anlık şarjın atım başladıktan sonra 446,741 ms'de patlayan 51,92 kg patlayıcı olduğu tespit edilmiştir. Atım öncesi enerji dağılımının incelenmesiyle patlayıcı enerjisinin verimli olarak kullanılıp kullanılmadığı değerlendirilebilir. İncelenen örnek atımda orta çekme deliklerinin çevresinde 60 Mj/m<sup>3</sup>'ün üzerinde enerji açığa çıktığı görülmüştür. Kontur delikleri çevresinde oluşan enerji dağılımı bir aşırı sökülme problemi için öngörü oluşturulmasına yardımcı olacaktır.

Gerçekleştirilen parçalanma analizinde 7 örnek atım için ortalama parça boyutu 17,72 cm olarak bulunmuştur. Ortalama üniformite indeksi değeri 1,42'dir. Yeraltı galeri atımındaki yığınlar nispeten küçük olduğu için tek fotoğrafta tüm yığın örneklenebilmektedir. Bu durum, yeraltında görüntü işlemenin açık ocak uygulamasına göre en önemli avantajıdır. Buna karşın, parça boyutu analizi için fotoğraf alınması sırasında yeraltında ışık yetersizliğinden dolayı daha hassas çalışılması gerekmektedir. Örnek fotoğrafları alacak kişinin yetkinliği boyut dağılım analizinin başarısı açısından önemlidir.

Bu çalışmada gerek atım öncesi patlatma tasarımında gerekse atım sonrası parçalanma verimliliğinin tespitinde bilgisayar yazılımları kullanılmıştır. Böylece bilgisayar yazılımları yeraltı patlatmasının her aşamasında devreye girmiş olmaktadır. Kimi zaman değişen jeolojik koşullar nedeniyle patlatma sonrası parçalanma verimsiz bir hale gelebilir. Bu durum tespit edildikten sonra tekrar tasarım aşamasına dönerek, yazılımlar yoluyla patlatma tasarımını değişen koşullara uyarlamak mümkündür. Sürdürülebilir madencilik konsepti kapsamında yazılım teknolojisinin yeraltı patlatmalarında yoğun kullanımı, yeraltında çalışan maden mühendislerine önemli ölçüde yardımcı olacaktır.

**Teşekkür:** Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasında gösterdikleri destekten dolayı ETİ Bakır A.Ş. ve Küre Yeraltı İşletmesi çalışanlarına teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Demir, G, Yılmaz, M, Şen, M, 2015. Eti Bakır A.Ş. Küre Yeraltı İşletmesi'nde Gerçekleştirilen Patlatma Uygulamalarının İncelenmesi, 8. *Delme Patlatma Sempozyumu*

Erkoç, Ö Y, 1990. *Kaya Patlatma Tekniği, Çelikler*, İstanbul

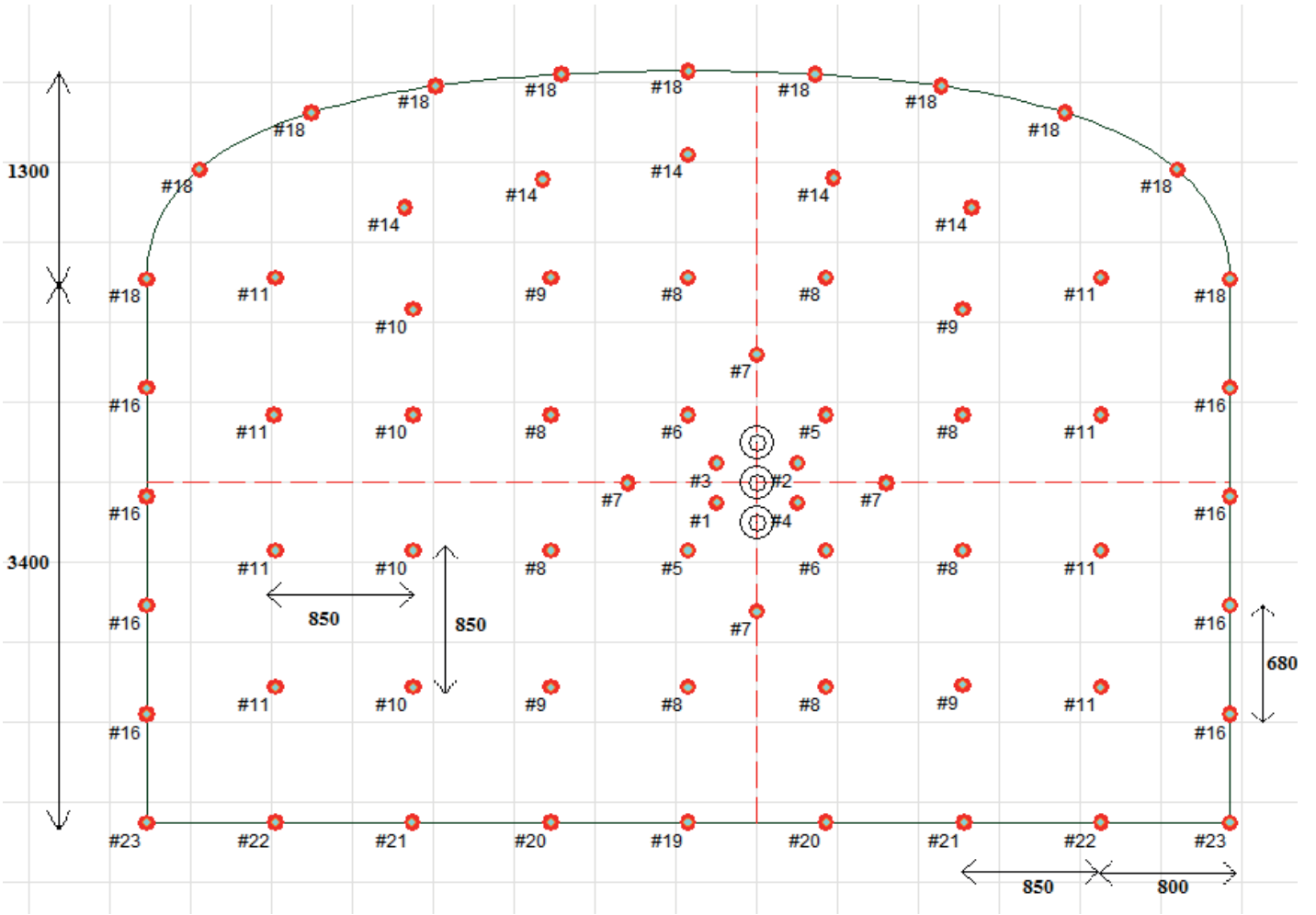
Maerz, N. H. and Palangio, T. C. and Franklin, C. A., 1996. WipFrag image based granulometry system, Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation, Canada, Aug. 25-29, pp. 91–99

Hüdaverdi, T, Akyıldız, Ö, 2015. Agregacoklarında parçalanma modelleriyle patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımının belirlenmesi, 7. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 5-6 Mart, İstanbul, s. 91-96.

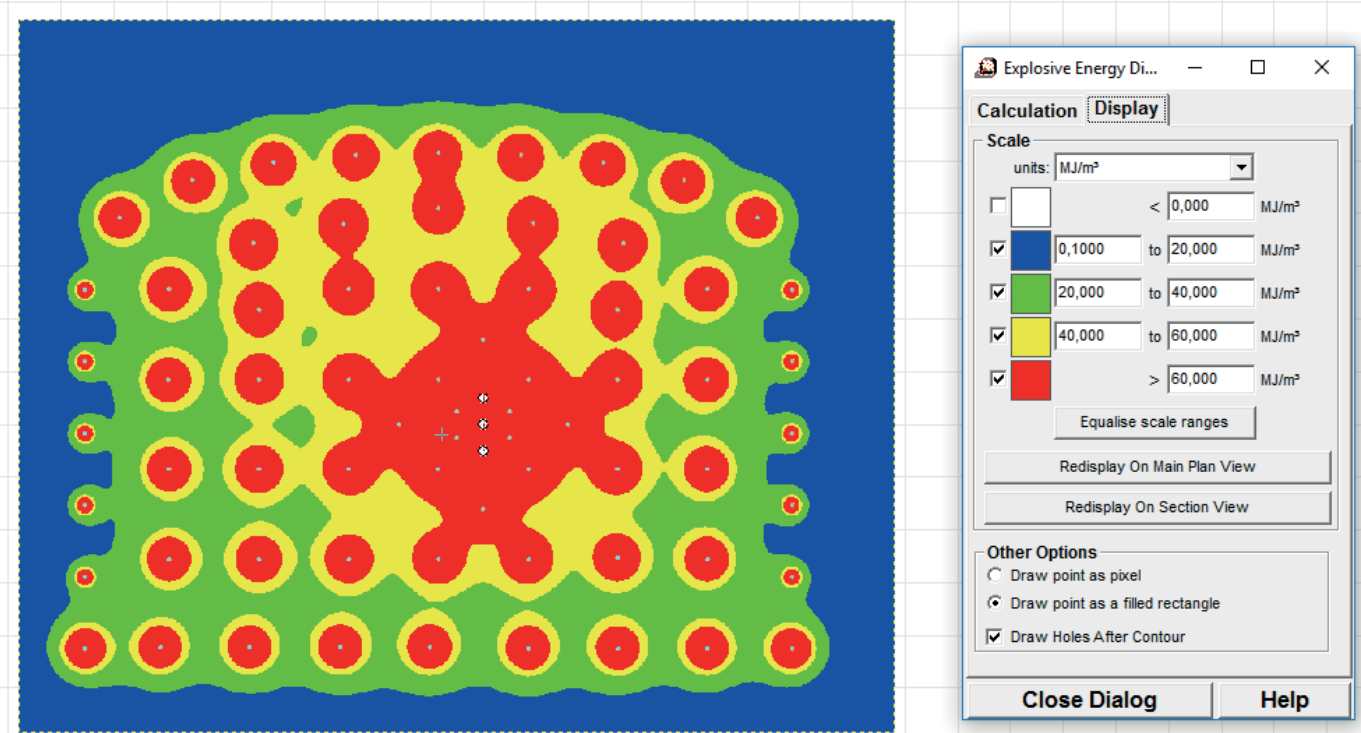
JKTech, 1998. *JKSimBlast Blast Simulation Evaluation And Management Software User Manual*, Queensland. S. 201-203

Latham JP, Kemeny J, Maerz N, Noy M, Schleifer J, Tose SA. Blind comparison between results of four image analysis systems using a photo-library of piles of sieved fragments, *Fragblast* 2003; 7(2):105–132.

Oloffson, S O, 1990. *Applied Explosives Technology for Construction and Mining*, APPLEPLEX, ARLA, 133 s.



Şekil Ek 1. Temel patlatma tasarımı



Şekil Ek 2. Patlatma tasarımının enerji dağılım grafiği



# Eti Maden Kırka Sarıkaya Açık Ocağında Patlatma Sonrası Oluşan Yığının Boyut Dağılımının KCO Modeli ve Görüntü Analiz Yöntemi ile Belirlenmesi

## *Investigation of Muckpile Fragmentation with KCO Approach and Image Analysis Technique in ETI Mine Kirka Sarikaya Quarry*

Ö. Akyıldız, T. Hüdaverdi, E. Ferah

*İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul*

**ÖZET** Bu çalışmada, Eskişehir Kırka'da bulunan Eti Maden Kırka Bor İşletmesi Sarıkaya Açık Ocağı'nda patlatma kaynaklı parçalanma incelenmiştir. Ocakta patlatma deliklerinin çapı 160 mm'dir. İncelenen atımlarda delik boyu 10 m. ile 11,5 m; dilim kalınlığı 4,5 ile 5 m, delikler arası mesafe ise 5 ile 6 m arasında değişmektedir. Patlayıcı olarak ANFO ve emülsiyon patlayıcı kullanılmaktadır. Araştırma dahilinde ilk olarak yığından uygun şekilde fotoğraflar alınıp görüntü işleme yazılımı yardımıyla parça boyut analizi yapılmıştır. Alınan fotoğraflar WipFrag dijital görüntü işleme yazılımı ile analiz edilerek parça boyut dağılımı eğrileri elde edilmiştir. Araştırmanın ikinci aşamasında, yığının parça boyut dağılımının tahmini için KCO parçalanma tahmin modelinden yararlanılmıştır. Modelin girdi parametrelerinden olan kayaç özellikleri, basamak aynasının durumu ve süreksizlik aralıkları incelenerek kaydedilmiştir. Son olarak, KCO modeli ile görüntü işleme yazılımı ve parçalanma derecesinin belirlenmesi için üretilen modellerin başında gelen KuzRam Modeli karşılaştırılmıştır. KCO parçalanma modelinin parçalanma tahmini için Eti Maden Kırka Bor İşletmesi Sarıkaya açık ocağında başarıyla kullanılabildiği görülmüştür.

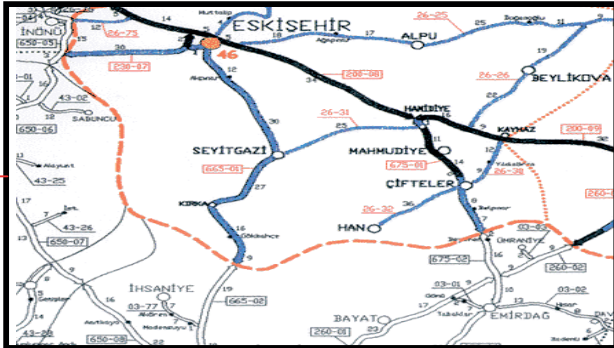
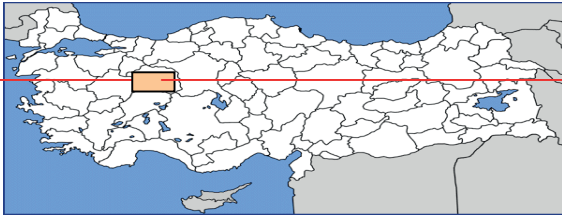
**Anahtar Kelimeler:** Parçalanma tahmini, Patlatma verimi, Görüntü işleme yazılımı, KCO Modeli

**ABSTRACT** In this research, muckpile fragmentation is investigated with KCO approach and image analysis technique in ETI Mine Kirka Sarikaya Quarry. Also, KuzRam Model is used to make comparison between image analysis and KCO Model. In all blasting operations, the borehole diameter is 160 mm and each blasting pattern has different burden, spacing and stemming length. The average spacing between adjacent holes vary from 5 m to 6 m, bench height 10 m to 11.5 m. and burden 4.5 m and 5 m. As a first step, image analysis software was used to determine particle size distribution of muckpiles. Then, KCO fragmentation model compared to the results of the image analysis technique. The efficiency of KCO models were investigated and the important points to be considered while using fragmentation models were explained.

**Keywords:** Muck pile fragmentation, blast efficiency, image analysis, KCO Model

## 1 GİRİŞ

Delme - patlatma işlemi sert minerallerin üretimi ve sert kazı formasyonlarında açılmak istenen tünellerde çokça uygulanan bir yöntemdir. İşlem verimli şekilde uygulandığı takdirde birçok avantaj sağlamaktadır. Delme - patlatma yöntemi hem taş ocaklarında hem de cevher üretimi yapılan ocaklarda üretimin ilk adımı olduğundan daha sonraki süreci bütünüyle etkilemektedir. Yükleme, taşıma, kırma ve öğütme bu adımlardan birkaçıdır. Bu sebeple atımın hem verimli hem de emniyetli şekilde yapılması üretim devamlılığı açısından neredeyse hayati bir öneme sahiptir. Özellikle, ülkemiz için büyük değer taşıyan bor madenlerinde patlatma verimliliğinin kestiriminin üretim planlamasında önemli fayda sağlayacağı düşünülmüştür. Verimli bir patlatma işleminden bahsedilebilmesi için atım sonrasında oluşan yığın parça boyut dağılımı bilinmelidir. Bunun için çeşitli yollar geliştirilmiş olup bu çalışmada görüntü işleme analizi ve KCO Modelleri kullanılması yoluna gidilmiştir.



Şekil 1. Kırka yer bulduru haritası

KCO modeli ile görüntü işleme yazılımı ve parçalanma derecesinin belirlenmesi için üretilen modellerin başında gelen KuzRam Modeli karşılaştırılmıştır. Çalışma sahası Eti Maden Kırka Sarıkaya Açık Ocağı'dır. Bu

çalışma ile Ouchterlony (2005) tarafından ortaya konan KCO Modeli ilk defa bir bor ocağında denenmiştir.

## 2 İNCELEME ALANI VE ARAZİ ÇALIŞMALARI

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Kırka Bor İşletme Müdürlüğü; Eskişehir ili, Seyitgazi ilçesi, Kırka beldesinin 4,5 km batısında Sarıkaya bölgesinde bulunmaktadır. Kırka yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir (Ferah, 2016). 1970 yılından itibaren başlayan dekapaj faaliyetleri ile tuvönan cevher üretiminde "açık işletme metodu" uygulanmaktadır. Dekapaj faaliyetlerinin sürdürüldüğü bölgelerde dahil olmak üzere; toplam yüzey alanı 2.000.000 m<sup>2</sup> seviyelerine ulaşmış olan Sarıkaya Açık Ocağı dünyanın sayılı büyüklükteki açık işletmelerinden biridir. Delme - patlatma işlemi ile gevşetilen cevher kayacının kazısı hidrolik paletli ekskavatörlerle yapılmakta ve yükleme - taşıma için "hidrolik paletli ekskavatör ve kamyon sistemi" uygulanmaktadır. Şekil 2'de Kırka bor işletmesinin görüntüsü verilmiştir (Ferah, 2016).



Şekil 2. Kırka bor işletmesinin görüntüsü.

## 3 YÖNTEM

### 3.1 Kuz-Ram Modeli

İlk olarak, Kuznetsov (1973) patlatma işlemi sonrasında oluşan yığın ortalama parça

boyutunu tahmin etmeye yarayan bir denklem geliştirmiştir (Eşitlik 1). Cunningham (1983) Kuznetsov ve Rosin-Rammer yaklaşımlarını birleştirerek Kuz-Ram Modelini ortaya atmıştır.

$$X_{50} = A \times \left(\frac{V_0}{Q_e}\right)^{-0,8} \times Q_e^{0,167} \times \left(\frac{115}{E}\right)^{0,633} \quad (1)$$

$X_{50}$  : Ortalama parça boyutu (cm)

A : Kayaç faktörü

$V_0$  : Delik başına kayaç hacmi ( $m^3$ )

$Q_e$  : Delik başına patlayıcı miktarı (kg)

E : ANFO ile karşılaştırılmalı ağırlık

$$R : e^{-\left(\frac{X}{X_c}\right)^n} \quad (2)$$

$X_c$  : Karakteristik boyut (cm)

X : Elek açıklığı (cm)

n : Üniformite indeksi

Bir atımın verimli sayılabilmesi sadece ortalama parça boyutuna değil aynı zamanda parça boyut dağılımına da bağlıdır. Oluşan yığındaki parçaların boyut dağılımı olabildiğince birbirine yakın olmalıdır. Toz boyutunca parçacıklar ile patar olarak adlandırılan bir metreden büyük parçalar çok ise verimli bir atımdan söz edilemez. Bu bağlamda, Cunningham (1987), üniformite indeksi olarak adlandırılan ve patlatma tasarım parametreleri ile hesaplanan bir denklem önermiştir (Eşitlik 3).

$$n = 1,1 \times \left[2,2 - 14 \times \left(\frac{B}{D}\right)\right] \times \left(\frac{1 + \frac{S}{B}}{2}\right)^{0,5} \times \left(1 - \frac{W}{B}\right) \times \left(\frac{L}{H}\right)$$

(3)

D : Delik çapı (mm)

W : Deliklerin standart sapması

B : Delik yükü (m)

L : Delik boyu (m)

H : Basamak yüksekliği (m)

S : Delikler arası mesafe (m)

### 3.1.1 Lilly'nin Katkısı

Lilly (1986) tarafından geliştirilen patlatılabilirlik indeksi Kuznetsov denklemindeki kayaç faktörünü hesaplamak için Cunningham (1987) tarafından modele dâhil edilmiştir. Kayaç faktörü Cunningham'ın en yeni yorumu göz önüne alınarak şu şekilde hesaplanmaktadır (Cunningham, 2005);

$$A: 0,06 (RMD + RDI + HF) \quad (4)$$

RMD: Kaya kütle sınıflaması

Çok çatlaklı parçalanmış kaya:10,

Masif kaya kütlesi: 50,

Eğer düşey yönde süreksizlik; RMD: JF,

JF : (JCF × JPS) + JPA

JCF: Eklem durum faktörü

Sıkı çatlak: 1,0

Aralıklı çatlak: 1,5,

Dolgu malzemeli çatlak: 2,0

JPS: Eklem düzlemi aralığı

<0,1 m: 10; 0,1–0,3 m: 20,

Eklem düzlemi aralığı > P: 50,

Eklem düzlemi aralığı: 0,3 m - 0,95×P: 80

JPA: Eklem düzlemi yönelimi

Aynanın dışına doğru dalan: 20,

Aynaya paralel: 30,

Aynanın içine doğru dalan: 40

RDI: Özgül ağırlık etkisi

RDI : (25 RD),

RD: Kayaç özgül ağırlığı ( $t/m^3$ )

HF: Sertlik katsayısı, E: Elastisite modülü

E < 50 GPa ise HF: E/3, E > 50 GPa ise

HF: UCS/5, UCS: Tek eksenli basınç

dayanımı.

Cunningham (2005) kayaç faktörünün tam olarak belirlenebilmesi için bir düzeltme katsayısı ile çarpılması gerektiğini belirtmiştir. Buna göre kayaç faktörünün hesaplanması şu şekilde son bulur;

$$A: 0,06 (RMD + RDI + HF) \times C(A)$$

Burada C(A) 0,5 ile 2 arasında alınabilecek olan düzeltme faktörüdür. Günümüzde kimi araştırmacılar hesaplama yapmadan Kuznetsov (1973)'un orijinal formülde öne sürdüğü ortalama kayaç faktörü değerini kullanmıştır.

### 3.2 Swebrec Denklemi ve KCO (Kuznetsov - Cunningham - Ouchterlony) Modeli

KCO dağılım modeli Ouchterlony (2005) tarafından Kuz-Ram modelinin eksikliklerinin giderilmesini önermiştir. Ouchterlony, Kuz-Ram modelinin boyut dağılımının tahmininde ince ve iri boyut oranlarında hatalı olduğunu göz önünde bulundurarak Rosin - Rammler fonksiyonundan daha farklı bir fonksiyon önermiştir. Swebrec fonksiyonu olarak bilinen bu fonksiyon kullanılarak boyut dağılımı modelini Ouchterlony 2005 yılında yayınlamış ve KCO (Kuznetsov, Cunningham, Ouchterlony) dağılım modeli olarak adlandırmıştır. KCO modelinde ortalama parça boyutu Kuznetsov denklemiyle bulunmaktadır. Eğrinin çizilebilmesi için bir eğri şekil katsayısı (b) tanımlanmıştır.

$$Rm = \frac{1}{\left\{ 1 + \left[ \frac{\ln \frac{X_{max}}{X}}{\ln \frac{X_{max}}{X_{50}}} \right]^b \right\}} \quad (5)$$

$X_{max}$ : En büyük parça boyutu

$X_{50}$ : Ortalama parça boyutu

X: Yığın içerisindeki dağılımı bulunacak parça boyutu

$$b = \left[ 2 \ln 2 \ln \left( \frac{X_{max}}{X_{50}} \right) \right] n \quad (6)$$

b: Eğri şekil katsayısı

n: Üniformite indeksi

## 4 YIĞININ ORTALAMA PARÇA BOYUTUNUN BELİRLENMESİ

Patlatma işlemleri sonucu oluşan yığın parça boyut dağılımının belirlenmesi doğru bir patlatma tasarımı için gereklidir. Patlatma sonrası oluşan yığın ortalama parça boyutunun belirlenmesi birkaç şekilde yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında ortalama parça boyutu analizi dijital görüntü işleme yolu ile WipFrag yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

### 4.1 Dijital Görüntü İşleme Yazılımları Yoluyla Parça Boyutu Analiz

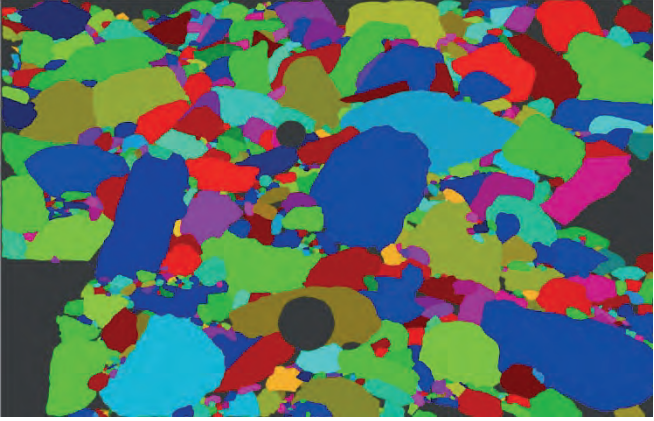
Hüdaverdi (2010), doktora tezinde ülkemizde en çok kullanılan görüntü işleme programları Wipware Inc. Şirketi bünyesinde Maerz ve arkadaşları (1996) tarafından geliştirilen Wipfrag programı ve Arizona Üniversitesi'nde Kemeny ve arkadaşları tarafından geliştirilen Split programı olduğunu belirtmiştir. Görüntü işleme yöntemi, hızlı bir yöntemdir. Birden fazla görüntü hızlı bir şekilde analiz edilebilmektedir. Üretimin durdurulmasına, kesintiye uğratılmasına gerek duyulmaz. Atım sonrası oluşan yığın iki şekilde fotoğraflanabilir. İlk olarak fotoğraf makinesi yere paralel olacak şekilde dikey fotoğraf çekilebilir. Fakat bu yöntemde yığın içinde iri parçaların iyi belirlenmemesi söz konusudur. Diğer yandan açılı çekilecek fotoğraflarda yığın daha geniş bir şekilde gözükcek ve analiz edilecek parça sayısı artacaktır. O nedenle açılı fotoğraflar almak daha uygun olacaktır.

Fotoğraflama işlemi sırasında, yığın parça boyutlarının belirlenebilmesi için ölçek kullanılmalıdır. Dikey çekilen fotoğraflarda tek ölçek yeterli olabilir, ancak açılı fotoğraflarda biri yakına diğeri uzağa olmak üzere iki adet ölçek kullanılmalıdır. Fotoğraflama işlemi sonrasında çekilen

fotoğraflar dijital ortamda programa aktarılır. Kullanılan ölçeklerin boyutları programa işlenir, bu sayede yığın içerisindeki parçaların boyutları program içerisinde hesaplanacaktır. Yazılım, yığın içerisindeki tüm parçaların sınırlarını belirleyerek bir ağ oluşturur. Bu işlem sonucunda fark edilen hatalar kullanıcı tarafından müdahale edilerek düzeltilebilir. Parça boyutları çizim esnasında kontrol edilebilir ve çok büyük boyutlarda (patar) ise görmezden gelinebilir.



Şekil 3: Dijital görüntü işleme ile parça sınırlarının belirlenmesi



Şekil 4: Dijital ortamda boyut kontrolü.

Fotoğraf ağlama işleminin ardından program boyut dağılım grafiğini oluşturur. Doğru bir analiz için yığından birçok fotoğraf alınarak analiz edilir ve bunların sonuçları birleştirilerek yığının parça boyut dağılım eğrisi elde edilir. Çizelge 1’de bu çalışma kapsamında incelenen atımların tasarım parametreleri verilmiştir. Tüm atımlarda delik çapları 160 mm’dir. İncelenen

atımlarda delik boyu 10 m. ile 11,5 m; dilim kalınlığı 4,5 ile 5 m, delikler arası mesafe ise 5 ile 6 m arasında değişmektedir. İncelenen atımlardaki deliklerde su olmadığından kullanılan patlayıcı ANFO’dur. Delik sayısı 10 ile 17 arasında değişmekte olup, sıra sayısı ise tek veya iki sıra halinde düzenlenmiştir. Delik dibi gecikme elemanı 500 ms, yüzey gecikme elemanları ise sıralar arası 42 ms, delikler arası ise 25 milisaniyedir.

Çizelge 1: İncelenen atım parametreleri.

	K	B	S	T	U	H	L	W <sub>a</sub>
1	10,5	5,0	5,5	3,0	0,5	11,0	8,0	128,1
2	11,0	5,0	5,5	3,0	0,5	11,5	8,5	136,1
3	11,0	4,5	5,0	3,0	0,5	11,5	8,5	136,1
4	11,0	5,0	5,5	3,0	0,5	11,5	8,5	136,1
5	11,0	5,0	6,0	3,0	1,0	12,0	9,0	144,1
6	9,5	5,0	5,5	3,0	1,0	10,5	7,5	120,1

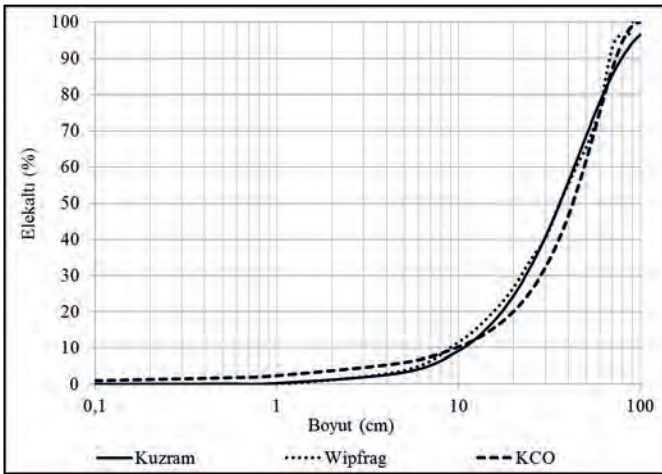
K: Basamak yüksekliği (m), B: Dilim kalınlığı (m), S: Delikler arası mesafe (m), T: Sıkılama (m), U: Alt delme (m), H: Delik boyu (m), L: Şarj boyu (m), W<sub>a</sub>: Bir delikteki patlayıcı miktarı (kg)



Şekil 5: ETİ Maden Kırka Sarıkaya Ocağından bir basamak görüntüsü.

## 5 AMPİRİK MODELLER İLE DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

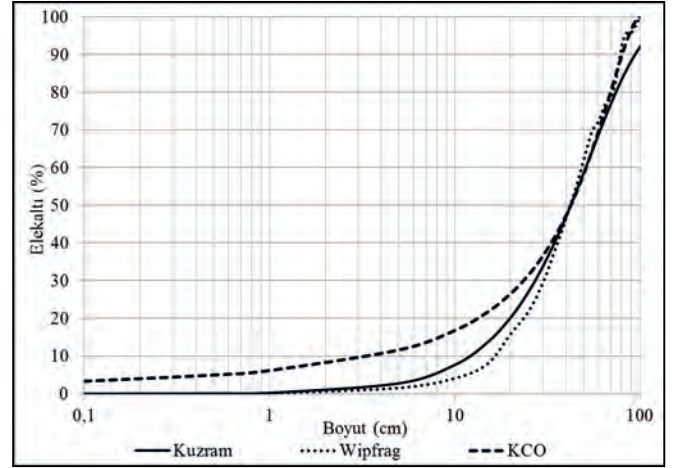
Çalışmanın bu bölümünde arazide elde edilen veriler ampirik modellere dahil edilerek parça boyut dağılımı tahmininde bulunulmuştur. Daha sonra, görüntü işleme yöntemi sonucu elde edilen parça boyut dağılımı ile ampirik model sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekil 6'da görüldüğü üzere 3. atıma ait ampirik modeller ile dijital görüntü işleme yöntemi sonucu elde edilen parça boyut dağılımları birbiri ile uyum içindedir. Burada, KCO Modeli'nin ince boyuttaki malzeme miktarını daha fazla öngördüğü belirtilmelidir. KCO Modeli, ortalama parça boyut tahmininde KuzRam modeli ile aynı denklemi kullanmaktadır. Karakteristik boyut tahmininde ise farklı denklemlerden yararlanmaktadırlar. Ampirik modeller ile elde edilen ortalama parça boyutu 36,1 cm iken görüntü işleme analizi ile bu boyut 35,88 cm bulunmuştur. Tahmin edilen karakteristik boyutlar KuzRam modeli için 45,2 cm, KCO modeli için 45 cm ve görüntü işleme analizi için ise 47,6 cm'dir.



Şekil 6: 3. Atıma ait parça boyut dağılımı eğrileri

Şekil 7'de 4. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılımı eğrileri sunulmuştur. Grafikten de

anlaşılacağı üzere hem ortalama parça boyutu hem de iri parça boyut dağılımları üç yaklaşımda da oldukça benzerdir.

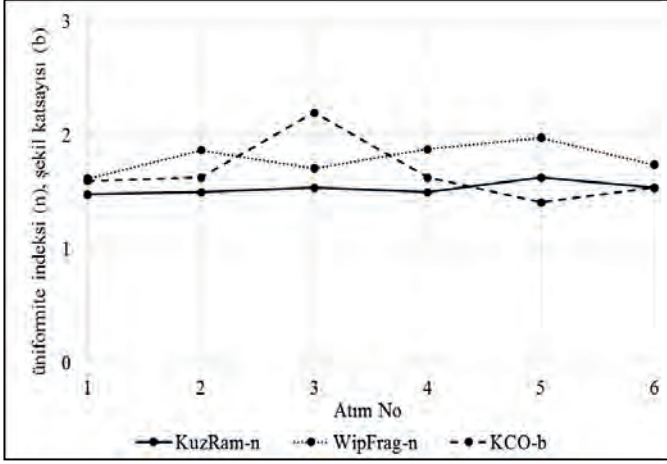


Şekil 7: 4. Atıma ait parça boyut dağılımı eğrileri

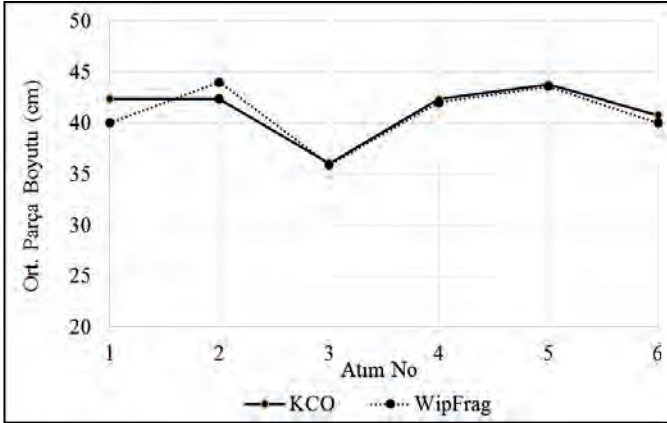
WipFrag yazılımı ortalama parça boyutunu yaklaşık olarak 42 cm. bulunmuştur. Araştırmacılar, genellikle malzemenin %10'unun geçtiği elek açıklığından küçük boyutu ince; %90'ının geçtiği açıklıktan büyük boyuttaki malzemeyi ise iri olarak tanımlamışlardır (Onederra ve diğ., 2004, Ouchterlony, 2003). Kimi araştırmacılar ise görece ince boyutlu malzemeyi tanımlamak için malzemenin %20'sinin geçtiği elek açıklığını esas almışlardır (Onederra ve diğ., 2004, Badroddin ve diğ., 2012). 4. atımda KCO modeli ince boyuttaki malzeme miktarını KuzRam modeli ve dijital görüntü işleme yazılımından daha fazla miktarda tahmin etmiştir. İri boyutlu malzeme miktarı tahmininde ise görüntü işleme ve KCO modeli birbirine yakın sonuçlar vermiş, KuzRam Modeli ise daha fazla tespit etmiştir.

Şekil 8'de WipFrag yazılımı ve KuzRam modeli ile hesaplanan üniformite indeksi değerleri sunulmuştur. KuzRam modeli ve WipFrag yazılımı değerleri arasında ortalama fark 0,33 olarak tespit edilmiştir. Özellikle 1, 3 ve 6 numaralı atımlarda üniformite indeksi değerleri birbirine çok yakındır. KuzRam

modeli ile hesaplanan ortalama değer 1,53 olup WipFrag yazılımı ile ölçülen ortalama üniformite indeksi değeri 1,80 bulunmuştur. Şekil 9’da WipFrag yazılımı ve KCO Modeli ile hesaplanan ortalama parça boyutu değerleri sunulmuştur. Kuznetsov denklemi ortalama parça boyutu için oldukça yakın tahminlerde bulunmuştur. Ölçülen ve tahmin edilen boyutlar arasındaki fark ortalama olarak 0,35 cm. olarak hesaplanmıştır.



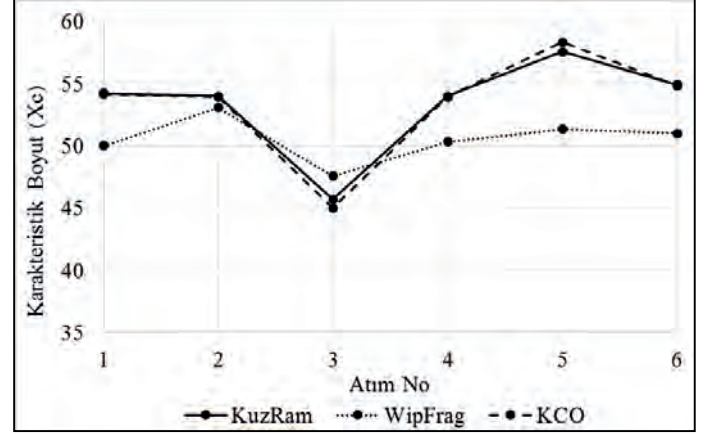
Şekil 8: WipFrag yazılımı ve KuzRam modeli ile hesaplanan üniformite indeksi değerleri



Şekil 9: WipFrag yazılımı ve KuzRam Modeli ile hesaplanan ortalama parça boyutu değerleri

Şekil 10’da WipFrag yazılımı ve KCO modeli ile ölçülen karakteristik boyut ( $X_c$ ) değerleri sunulmuştur. Görüldüğü gibi genel olarak KCO modeli ve WipFrag yazılımı değerleri arasında uyum söz konusudur. Ölçülen ve tahmin edilen karakteristik

boyutlar arasında ortalama olarak 2,84 santimetrelilik bir fark hesaplanmıştır. KCO modeli ile hesaplanan ortalama değer 53,4 cm. olup WipFrag yazılımı ile ölçülen ortalama karakteristik boyut 50,6 cm. bulunmuştur. Özellikle 2, 3 ve 4 numaralı atımlarda karakteristik boyut değerleri birbirine çok yakındır.



Şekil 10: WipFrag yazılımı ve KuzRam modeli ile hesaplanan karakteristik boyut değerleri.

## 6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırma kapsamında Eskişehir Kırka ’da bulunan Eti Maden Kırka Bor İşletmesi Sarıkaya Açık Ocağında patlatma kaynaklı parçalanma incelenmiştir. Parçalanma derecesinin belirlenmesi birçok yolla yapılabilmekte olup, mevcut çalışmada ampirik modeller ve dijital görüntü işleme yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında esas olarak KCO Modeli incelenmiş, karşılaştırma yapma noktasında ise KuzRam Model’inden yararlanılmıştır. Atım öncesinde kaydedilen patlatma tasarım parametreleri ampirik modellerde girdi değişkenler olarak kullanılmıştır. Atım sonrasında yığının farklı noktalarından alınan fotoğraflar ise dijital görüntü işleme yazılımında analiz edilerek parçalanma derecesi hakkında bilgi edinilmiştir. Bulunan sonuçlar yığının boyut dağılımını tahmin etmek üzere üretilmiş olan modeller ile eş zamanlı olarak karşılaştırılmıştır. Yapılan

karşılaştırma sonucunda ampirik modeller ile görüntü işleme yazılımı sonuçları birbiri ile uyumlu değerler vermiştir. En son olarak, KCO Model'inin bor madenlerinde de verimli şekilde kullanılabileceği ve sahada çalışan mühendislere yardımcı olacağı görülmüştür.

Patlatma kaynaklı parçalanmaya etki eden kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen birçok değişken vardır. Bunlar yerel jeolojik koşullar, kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri, süreksizlikler, ateşleme sisteminin hassasiyeti vb. olarak sıralanabilir. Bir modelde tüm değişkenlerin değerlendirilme imkânı yoktur. Bununla birlikte her çalışma, yeni araştırmalar için bir basamak görevi görmektedir. Patlatma araştırmalarındaki ilerlemeler, gelecekte daha kapsamlı parçalanma modellerinin oluşturulmasına olanak sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

Badroddin M., Bakhtavar E., Khoshrou H., B. Rezaei, (2012). Efficiency of standardized image processing in the fragmentation prediction in the case of Sungun open-pit mine, Saudi Society for Geosciences.

Cunningham. CVB. (1983). The Kuz–Ram model for prediction of fragmentation from blasting. *1st Int. Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*. Lulea. Sweden. Aug. 22–26. Sf. 439–453.

Cunningham. CVB. (2005). The Kuz–Ram Fragmentation model –20 years on. *Proceedings of Brighton Conference*. South Africa. p. 201–205.

Ferah, E., (2016). Eti Maden Kırka Sarıkaya Ocağında Patlatma Kaynaklı Parçalanmanın Değerlendirilmesi Ve Çok Sıralı Patlatma Tasarımı, *Yüksek Lisans*

*Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Hüdaverdi, T., (2010). Parçalanmanın iyileştirilmesine yönelik patlatma tasarımlarının araştırılması, *Doktora tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Kuznetsov. V. M., (1973). Mean diameter of fragments formed by blasting rock. *Soviet Mining Science*. 9(2). Sf. 144–148.

Lilly. P. A., (1986). An Empirical method of assessing rock mass blastability. *AusIMM Large Open Pit Mining Conference*. Melbourne. Sf. 89–92.

Maerz, N. H., Palangio, T. C. and Franklin, C. A., (1996). WipFrag image based granulometry system, *Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation*, Canada, Aug. 25-29, Sf. 91–99.

Onederra I., Esen S. and Jankovic A., (2004). Estimation of fines generated by blasting – applications for the mining and quarrying industries. *Mining Technology Trans. Inst. Min. Metall. A. Vol. 113. s. (237)*.

Ouchterlony. F., (2003). Influence of Blasting on the size distribution and properties of muckpile fragments, a state-of-the-art review. *Swebrec*. Lulea University of Technology.

Ouchterlony. F., (2005a). The Swebrec function: linking fragmentation by blasting and crushing. *Trans. Inst. Min. Metall. A. Vol. 114. s. (32)*.



# Taş Ocaklarında Delik Çapı Değişiminin Kırmataş Üretim Maliyetlerine Olan Etkilerinin Belirlenmesi

## *Determination of the Influences of the Blasthole Diameter Changes on the Crushed Aggregate Production Costs in Quarry*

A. Çelik

*TKİ Dodurga Kontrol Müdürlüğü, Çorum*

N. Bilim

*Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya*

**ÖZET** Dünyada fert başına en fazla tüketilen maddeler su ve agregadır. Agregaya olan ihtiyacın bu denli fazla olması agrega üretimi yapan kum ve taş ocak sayılarının artmasına neden olmaktadır. Kırmataş ocaklarının sayılarındaki bu artış, pazarda ciddi bir rekabet ortamı doğurmaktadır ve pazarda oluşan bu rekabet ortamı da fiyatları doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla bu durum kırmataş üreticilerini, kırmataş üretim maliyetleri üzerinde yeni önlemler alma ve maliyet analizleri yapma zorunluluğuna itmektedir.

Bu çalışmada, kırmataş işletmelerinde maliyet optimizasyonunu sağlayabilmek adına farklı patlatma tasarım parametreleri belirlenerek patlatmalar gerçekleştirilmiş ve izlenmiştir. Arazi deneylerinde 89 mm çapında ve 102 mm çaplarındaki patlatma deliklerindeki ölçümler analiz edilmiştir. Bu atımlarda farklı patlatma tasarım parametreleri uygulanmıştır. Patlatma tasarım parametrelerinin maliyet üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçta, çap değişimi sonucu oluşan birim maliyetler belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Agrega, Delik çapı, Maliyet

**ABSTRACT** The most commonly consumed materials per capita in the world are the water and aggregate. Having such a high demand to the aggregates results in the increase of number of the sand and stone quarries that manufacture the aggregates. This excessive increase in the number of crushed aggregate quarries causes a serious competition environment and this intense competition environment effects directly the prices. Consequently, that situation obligates the crushed aggregate manufacturers to take new measures on the costs and make effective cost analysis of the crushed aggregate productions.

In this study, in order to be able to obtain the cost optimization in the crushed aggregate facilities, some explosions were carried out and observed by means of determining the different explosion design parameters. At the quarry, tests in blasting holes of 89 mm in diameter and 102 mm in diameter were analyzed. The different explosion design parameters were applied in these shots. The influences of these explosion design parameters on the costs were evaluated. Ultimately, the unit costs with the change of diameter were determined.

**Key words:** Aggregate, Drill diameter, cost

## 1 GİRİŞ

Agrega dünyadaki tüm inşaat sektörlerinin temel hammaddesidir. Agregalar, yol yapımı, demiryolu balastı, beton üretimi gibi geniş bir alanda kullanılmaktadır. Agregada dünyada en fazla üretilen madenlerden birisidir. Beton içinde hacimsel olarak % 60-75, asfalt içinde ise % 95 civarında yer işgal eden agregada inşaat sektörü için vazgeçilemez bir yapı hammaddesidir. Ülkemizde kırmataş olarak kullanılabilir rezervler oldukça fazladır. Ürüne olan talebin artması ile rekabet ortamı doğmuştur. Pazarda oluşan rekabet, fiyatları doğrudan etkilediği için üretim maliyetleri üzerinde yeni önlemler alma ve maliyet analizleri zorunluluğu ortaya çıkmıştır.

Kırmataş ocaklarında üretilen her ton üretim başına düşen birim maliyeti etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerin birim maliyet üzerindeki etkilerinin iyi bir şekilde tanımlanması artan rekabet çerçevesinde, işletme gelirleri açısından çok büyük önem arz etmektedir. Kırmataş ocaklarında birim maliyete büyük oranda etki eden parametrelerden bir tanesi de delme-patlatma maliyetidir (Kanchibotla, 2010; Tek, 1999; Tosun, 1996; Yılmaz ve Arıoğlu, 2006; Aksoy ve Yalçın, 1999).

Genel olarak üretim maliyetinde, delme-patlatma maliyeti %5-40 arasında değişmektedir. Bu değerler, delme-patlatma konusunda, bilim ve tekniğe uygun çalışmayla daha alt seviyelere çekilebilir. Bazı işletmelerde yapılan deneysel çalışmalar bu rakamların %10-20 sınırına çekilebileceğini göstermektedir (Bağdatlı, 2013).

Aksoy ve Yalçın (1999) birim maliyet üzerinde delme patlatmanın %20, yükleme ve taşımının %40, kırma ve elemanın ise %40 etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Halili (2003) delme patlatmanın %18 – 21, yükleme ve taşımının %29–33, kırma ve elemanın ise %46–53 oranında birim maliyeti etkilediği gözlemlenmiştir.

Bilim ve ark., (2016) delme-patlatma maliyetinin % 38, yükleme-taşıma maliyetinin, % 33 ve kırma-eleme maliyetinin ise % 29 civarlarında olduğunu belirlemişlerdir.

Delme-patlatmanın birim maliyet üzerindeki etkileri belirlendikten sonra, bu maliyetleri azaltmak için alınacak önlemler üzerinde de çalışma imkânı bulunacaktır. Bu sebeple yapılacak tasarımlar genel olarak değiştirilebilir parametreler ve değiştirilemeyen parametreler olmak üzere incelenmektedir.

Değiştirilemeyen parametreler faaliyetin sürdürüldüğü kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı iken, değiştirilebilir parametreler patlayıcı cinsi, özgül şarj, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe gibi parametrelerin amaca uygun bir şekilde belirlenebilmesi esasına dayanmaktadır. Ayrıca, delme patlatma tasarımının uygun dizaynı kendisinden sonraki işlemler için oluşacak olan maliyetleri de doğrudan etkilemektedir.

Akkoyun (2004), kireçtaşı ocağında yaptığı araştırmalarda delik çapının 89 mm'den 102 mm'ye çıkartılması sonucunda, ANFO giderlerinde %12, dinamit giderlerinde ise %30'lara varan düşüşler yaşandığını tespit etmiştir.

Bu çalışmada, Öztaşoğlu Hafriyat Nakliyat Taahhüt Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.'ne ait kırmataş ocağında delik çapı değişiminin etkilerini belirleyebilmek adına, 89 mm çapında 20 adet ve 102 mm çapında 20 adet olmak üzere toplamda 40 adet atım gerçekleştirilmiş ve atımlara ait üretim maliyetleri titizlikle incelenmiştir.

## 2 ÇALIŞMA SAHASININ TANITIMI

Bu bölümde, çalışma bölgesi olarak seçilen işletme ve işletme bölgesinin jeolojisi hakkında bilgiler sunulmuştur. Ayrıca işletmenin yer bulduru haritası verilmiştir.

## 2.1 Bölgenin Jeolojisi ve Yer Bulduru Haritası

Bu çalışmada örnek çalışma alanı olarak seçilen kırmataş ocağı, halen faaliyetlerini devam ettirmektedir. Ocağın bulunduğu Selçuklu İlçesi Konya'nın kuzeyinde yer almakta olup, yüzölçümü 2056 km<sup>2</sup> ve ilçe rakımı 1020 m'dir. Taş ocağı sahası Selçuklu İlçesinin kuzeydoğusunda Konya-Ankara şehirlerarası karayolunun 32. km'sinde, Eğribayat Köyü civarındadır. Ocağın yer bulduru haritası Şekil 1.'de sunulmaktadır.



Şekil 1. Çalışma sahasının yer bulduru haritası

Çalışma alanının bulunduğu Konya İli, Selçuklu İlçesi, Eğribayat Köyü mevkii, Kuvaterner Ova Çökelleri ve Paleozoyik ve Mesozoyik Temel Kayaçları üzerinde yer almaktadır. Üretici firma kuruluşundan bu yana doğal (kalsit, kalker vb) kaynakların, konkasör sistemi ile kırılarak inşaat sektörünün ana malzemesi olan agregaların üretimini yapmaktadır.

## 2.2 Çalışma Yöntemi

Kırmataş üretimi açık ocak yöntemiyle yapılmakta olup, ocaktaki örtü tabakasının hemen hemen yok sayılacak kadar az miktarda görülmesi çalışma sistemini

elverişli hale getirmekle birlikte kırma-eleme işlemlerinde açığa çıkan malzemelerin de temiz olmasını sağlamaktadır. Üretim iki basamak halinde yürütülmekte olup, basamak yükseklikleri ilk basamakta 12-25 m arası değişmekte iken, ikinci basamakta 15m'dir. Birinci basamakta arazi koşullarından kaynaklı aynanın orta kısmı yan taraflara kıyasla daha yüksek ortalama 18-25 m civarındadır. Bu kısım 1 yıllık çalışma döneminde kaldırılacağından dolayı çalışmalarda yüksek ayna boyu tercih edilmiştir. Ancak maliyet analiz sonuçlarının yüksek değerlerde çıkması ve yüksek ayna boylarında çalışmanın zorluğu gibi nedenlerden ötürü 3 aylık bir çalışma sonrasında aynanın orta kısmı iki basamak halinde çalıştırılmıştır.

## 3 MALİYETE ETKİ EDEN PARAMETRELER

Kırmataş işletmeciliğinde maliyet analizleri oldukça önemlidir. Toplam maliyet giderleri delme- patlatma giderleri, yükleme-taşıma giderleri ve kırma-eleme giderleri olmak üzere üç ana unsur olarak incelenmektedir.

İşletmede üretimin ilk basamağını delme-patlatma işlemi oluşturmaktadır. Patlatma işlemi yapıldıktan sonrası açığa çıkan patarlar ikincil kırma işlemine tabi tutulmaktadır (İkincil kırma işlemi hidrolik kırıcı ile gerçekleştirilmektedir). Patlatma sonrası açığa çıkan malzemeler ile ikincil kırmada kırılan patarlar loader ile kamyonlara yüklenmekte ve kamyonlar aracılığıyla kırma-eleme tesisine taşınmaktadır. Kırma-eleme tesisine gelen malzeme burada piyasa şartlarına göre elek sistemi değiştirilerek sınıflandırılmaktadır.

## 4 MALİYET ANALİZLERİ

Örnek olarak seçilen taşocağında 2014-2015 yılları arasında yapılan 40 atım ve üretilen malzemenin ayrıntılı analizleri takip edilmiştir. Her bir atımda üretilen malzemenin toplam maliyete etkilerini

belirlemek amacıyla; delme maliyeti, patlatma maliyeti, kırıcı maliyeti, yükleme maliyeti, taşıma maliyeti ve kırma maliyetleri ayrı ayrı hesaplanarak irdelenmiştir(Çelik 2016).

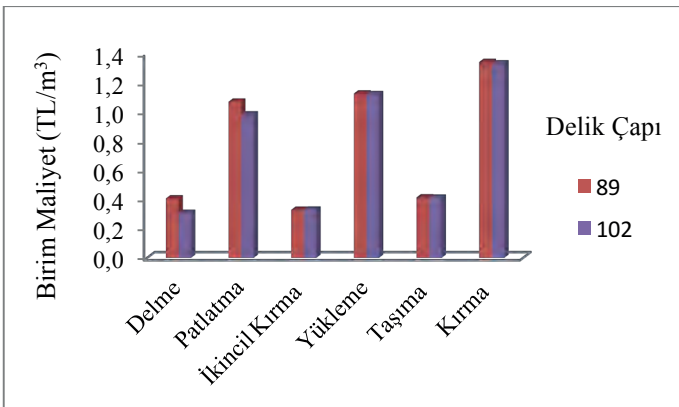
Kırmataş üretim maliyetlerinin hesaplanmasında, kullanılan ekipmanların (jumbo, kamyon, lastikli yükleyici ve hidrolik kırıcı) sıvı yakıt (motorin) tüketim maliyetleri baz alınmıştır. Kırma-eleme tesisinde ise tüketilen elektrik enerjisi baz alınmıştır.

Yapılan analizlerde, işçilik ve bakım onarım giderleri hesaplamalar dışında tutulmuştur.

89 ve 102 mm delik çaplarında yapılan atımlar birbirlerinden bağımsız zamanlarda yapılmış olup, toplamda yapılan 40 atım 11 aylık sürede tamamlanmıştır. Bu sürede gerek motorin litre fiyatlarında gerekse elektrik enerjisi fiyatlarında oluşan değişikliklerin, hesaplamalarda farklılıklar yaratmaması adına motorin fiyatı **4.2 TL/Lt** elektrik enerjisi fiyatı ise **0.26 TL/Kwh** (Bu fiyata KDV, vb. giderler dahil edilmiştir) olarak sabitlenmiştir.

#### 4.1 Delik Çapı İle İlgili Yapılan Analizler

Yapılan 40 atımda farklı delik boylarında 89 ve 102 mm olmak üzere 2 farklı delik çapı kullanılmıştır. Her bir delik çapı için toplamda 20 atım gerçekleştirilmiş olup, atımlar sonrası oluşan birim maliyetler titizlikle incelenmiştir (Şekil 2).

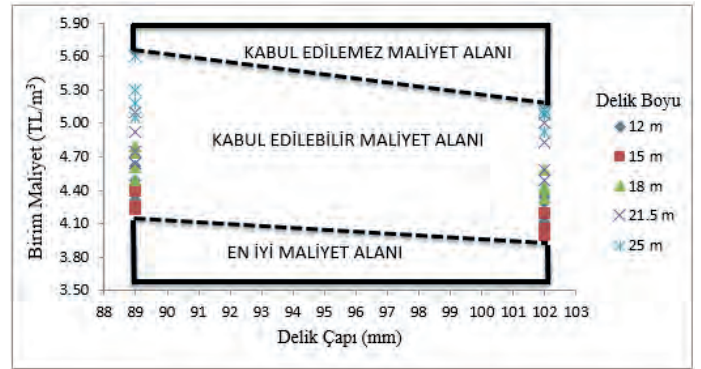


Şekil 2. Delik çapı değişimi ile kırmataş üretim birim maliyetleri arasındaki ilişki

Yapılan analizler neticesinde delik çapının 89 mm'den 102 mm'ye yükselmesi ile delme ve patlatma birim maliyetlerinde belirgin bir düşüş gözlemlenirken diğer birim faaliyetler üzerinde delik çapı değişiminin etkisi görülemez.

Burada delik çapının artırılması ile delme birim maliyetinde  $0.1 \text{ TL/m}^3$ , patlatma birim maliyetinde  $0.09 \text{ TL/m}^3$  lük düşüş meydana gelmiştir. Diğer birim faaliyetlerin toplamında ise yalnızca  $0.02 \text{ TL/m}^3$  lük bir düşüş gözlemlenmiştir.

Çap değişiminin toplam birim maliyet üzerindeki değişimi ise Şekil 3'de sunulmaktadır.



Şekil 3. Delik çapı değişimi ile toplam birim maliyetler arasındaki ilişki

Yapılan 40 atım sonucunda 89 mm çapında 20 birim maliyet ve 102 mm çapında 20 birim maliyet olmak üzere toplamda 40 adet birim maliyet açığa çıkmıştır. Şekil 3'de her iki çapta da yapılan atımların toplam kırmataş üretim birim maliyetleri gösterilmektedir. Burada delik çapının 89 mm'den 102 mm'ye yükseltilmesiyle toplam birim maliyetler;

12m delik boyunda %4.55, 15m delik boyunda %6.40, 18m delik boyunda %4.94 21.5m delik boyunda %2.54, 25m delik boyunda ise %4.50 düşmüştür.

Ayrıca oluşturulan grafikte 89 ve 102 mm çapları arasında kalan kısım kabul edilebilir maliyet alanı olarak değerlendirilirken bu birim maliyetlerin üzerindeki kısımlar kabul edilemez maliyet alanı ve altındaki kısımlar

da en iyi maliyet alanı olarak değerlendirilmektedir.

## 5 SONUÇLAR

Delik çapı değişiminin kırmataş üretim maliyetlerini ne derecede etkilediğinin araştırıldığı bu çalışmada ulaşılan sonuçlar şöyle özetlenebilir;

Delik çapı artışı ile delme birim maliyetinde %24.39'luk bir azalma meydana gelmiştir. Burada delik çapının artışı ile delici makinanın zorlanacağı ve maliyet artışı gözlenebileceği akla gelebilir, ancak delik çapının artması ile birlikte bir atımda kullanılacak patlayıcı madde miktarına bağlı olarak delik sayısında azalma meydana gelmektedir. Dolayısıyla delik sayısındaki azalmada doğrudan delme birim maliyetini düşürmektedir. Ayrıca delik sayısına ek olarak çapın büyümesiyle basamak geometrisinde de 50 cm'lik bir büyüme gerçekleştirilmiştir. Bu büyüme de üretim miktarını arttırdığından delme birim maliyeti düşmüştür. Aynı şekilde üretimdeki artış patlatma birim maliyetinin de %8.09 oranında düşmesine neden olmuştur.

Delik çapının artışı ile diğer faaliyetlerde bir değişim gözlenmemesinin sebebi delik çapının artması ile birlikte dilim kalınlığı ve delikler arası mesafenin 50cm arttırılmasından kaynaklıdır. Burada çapın büyümesi ile basamak geometrisine verilen artış miktarının belirlenmesinde, konu ile ilgili literatürde çalışmaları bulunan araştırmacıların geliştirdikleri formüller dikkate alınmıştır.

Ayrıca delik çapı artışı ile toplam birim maliyette %4.5'lik bir düşüş yaşanmıştır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Öztaşoğlu firmasına ait taş ocağında gerçekleştirilmiş olup, yazarlar

çalışma süresince desteklerini esirgemeyen işletme yetkililerine teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Akkoyun, Ö., 2004. Bir Kireçtaşı Ocağında Uygulanan Patlatma Delik Çapı Değişiminin Sonuçları, 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, s. 166-172, İzmir.
- Aksoy, C.O., Yalçın, E., 1999. Türkiye Kırmataş Üretim Yöntemlerinin Ekonomik Analizi 3. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir.
- Bağdatlı, S., 2013. Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy Metro Hattı Libadiye İstasyonu Yaklaşım Tüneli Kazısında Yapılan Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Titreşimlerin Ölçülmesi Ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (150 s.).
- Bilim, N., Çelik, A., Kekeç, B. 2015. Kırmataş İşletmelerinde Delme-Patlatma İşleminin Toplam Maliyete Olan Etkisinin Belirlenmesi. 8. Delme-Patlatma Sempozyumu. 19-20 Kasım 2015, İstanbul, 259-266.
- Çelik A., 2016. Kırmataş Tesislerinde Toplam Birim Maliyete Etki Eden Parametreler ve Delme – Patlatma Birim Maliyetinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kanchibotla, S.S. 2010. Optimum Blasting? Is it Minimum Cost Per Broken Rock or Maximum Value Per Broken Rock. *International Journal for Blasting and Fragmentation*. Volume 7, 2003 - Issue 1, 35-48.
- Halili, A., 2003. Agregada Üretiminde Kıрма Eleme ve Taşın Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Önemi, 3. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul.
- Tek, A., 1999. Ocak Delme-Patlatma İşlemlerinde Maliyet Azaltılması, 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul.
- Tosun, S., 1996. Patlayıcı Madde Kaya Eşleşmesinin Maliyet Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, 2. *Delme Patlatma Sempozyumu*, Ankara.
- Yılmaz A. O., Arıoğlu, E., 2006. Taşocağında Üretim Maliyetlerinin Matematiksel Modelinin Oluşturulması ve Örnek Uygulama, 4. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, s. 265-276, İstanbul.

# Bir Açık Ocak Altın Madeni Proses Tesisi Temel Kazılarında Gerçekleştirilen Kontrollü Patlatma Uygulamaları

## *Controlled Blasting Applications at Processing Plant Foundation Excavation in an Open Pit Gold Mine*

Ü. Kılıç, M. Derya, V. Alabaş  
*Madser Patlayıcı Maddeler Ltd. Şti.*

**ÖZET** Bu bildiride bir açık ocak altın madeninde kurulmakta olan proses tesisi temel kazısı kapsamında yapılan kontrollü patlatma uygulamaları anlatılmıştır.

Patlatma işlerine başlamadan önce saha gezilerek yapılacak atımlardan etkilenmesi muhtemel madencilik unsurları tespit edilmiş, bu unsurların patlatma bölgesine olan mesafeleri belirlenmiş, patlatma yapılacak alan risk derecesine göre gruplara ayrılmış ve risk analizi yapılmıştır. Literatür çalışması yapılarak benzer çalışmalar incelenmiş ve çeşitli madencilik unsurları için limit sarsıntı değerleri belirlenmiştir. Her risk bölgesi için uluslararası kabul gören bir tahmin denklemi kullanılarak farklı mesafelere göre izin verilen gecikme başına kullanılacak maksimum patlayıcı madde miktarları hesaplanmış ve Terrock yaklaşımı kullanılarak kaya fırlaması modellenmesi yapılmış ve güvelik mesafeleri belirlenmiştir.

Belirlenen limitlere uygun şekilde gerçekleştirilen tüm patlatmalar, üç noktadan sarsıntı ve hava şoku ölçümü yapılarak kontrol edilmiştir. Elektriksiz kapsül sistemleri kullanılarak başlayan patlatmalarda zaman içerisinde duyulan ihtiyaç nedeniyle elektronik kapsüller kullanılmaya başlanmış ve elektronik kapsüllerin yarattığı avantajlar sayesinde kazı hızı arttırılmıştır.

**ABSTRACT** This paper covers the controlled blasting applications in an open pit gold mine during the processing plant foundation excavation.

Blasting area was visited and mining structures and plants likely to be affected from blasts were determined and fields where blasting shall be performed were grouped according to risk categories and risk analysis was done. Similar works were investigated in literature and limit PPVs were determined for these structures around the blasting area. Maximum charge per delay according to different distances was calculated for each region using an internationally accepted estimation equation. Fly rock projection was made by using Terrock Approach and safe distances were determined.

All blasts were performed according to the designated limits and were monitored in terms of vibration and air shock from three different stations. Non-electric detonators were replaced by electronics and excavation rate was increased.

## 1 GİRİŞ

### 1.1 Genel

Patlatma kaynaklı çevresel rahatsızlıklar, son yıllarda artan şehirleşme ve üretim talebine

bağlı olarak artmaktadır. Patlatma kaynaklı çevresel sorunların en belirgin olanı ya da en önemli şikâyet konusu yer sarsıntısıdır. Kaya fırlaması ve hava şoku problemleri patlatma noktasına yakın bölgelerde etkinken, patlatma

kaynaklı sarsıntılar çok uzaklarda da hissedilmektedir.

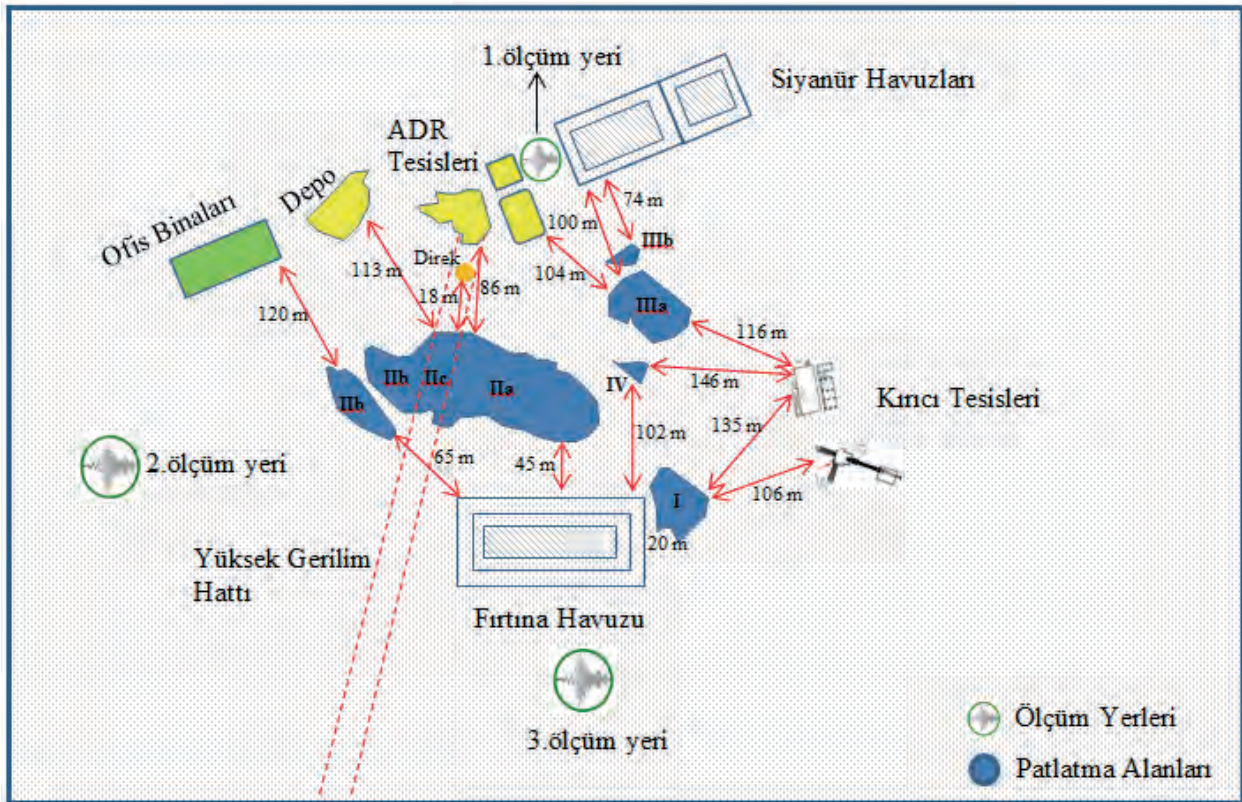
Patlayıcı kullanımı, çevresel etkilerinin kontrolü düşünülerek planlanmalıdır. Patlatma kaynaklı çevresel etkiler yerleşim birimleri üzerinde olduğu kadar yakında bulunan diğer madencilik unsurları üzerinde de etkili olabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, bir açık ocak altın madeni işletmesinde yeni kurulmakta olan proses tesisi temel kazılarında yapılan kontrollü patlatma uygulamalarına ait süreçler anlatılmıştır. Patlatma işlerine başlamadan önce ofis çalışmaları yapılarak risk analizi ve detaylı bir kılavuz teknik rapor hazırlanmıştır. Uygulama aşamasında ise, güvenlikten taviz verilmeksizin termin süresi de dikkate alınarak kontrollü patlatma uygulamalarında sürekli iyileştirmeler yapılmıştır.

## 2 PROJE HAKKINDA BİLGİ

Altın Madeninde yeni bir cevher hazırlama tesisinin yapılması planlanmıştır. Planlanan bu tesis inşaatının yapılabilmesi için belirlenen alanda projeye uygun kazılar yapılması gerekmektedir.

Belirlenen proje sahasının etrafında ise çeşitli madencilik unsurları bulunmaktadır. Proje sahasına çeşitli uzaklıklarda bulunan bu tesislerin ortak özelliği endüstriyel tipte yapılar olmasıdır (Şek. 1). Proje sahasında yapılması planlanan patlatmalardan önce mevcut madencilik yapılarının özelliklerine göre farklı sarsıntı limitleri belirlenmiş, patlatma bölgesi belirlenen bu limitleri aşmayacak iki farklı risk grubuna ayrılmış ve her bölge için farklı delme patlatma tasarımı oluşturulmuştur.



Şekil 1. Kazı alanının genel görünümü

### 3 UYGULAMA ÖNCESİ SAHA VE OFİS ÇALIŞMALARI

Proje kapsamında yapılacak olan patlatma işlerine başlamadan önce delme patlatma işlerine rehberlik edecek detaylı bir rapor hazırlanmıştır. Rapor hazırlanmadan önce proje sahası gezilerek çevrede bulunan ve yapılacak patlatmalardan etkilenmesi muhtemel unsurlar yerinde görülmüştür. Daha sonra bu unsurlar harita üzerinde belirlenerek atım bölgesine olan uzaklıkları öğrenilmiştir. Yapılacak kazı işinin sınırları, çevrede bulunan risk altındaki unsurlar yerinde görüldükten sonra teknik detayları, metodolojiyi ve delme patlatma tasarımını kapsayacak raporun hazırlığı için gerekli belgeler temin edilmiştir.

#### 3.1 Risk Analizi Yapılması

Proje sahası gezilip çevrede bulunan ve patlatmalardan etkilenebilecek unsurlar tespit edildikten sonra patlatma işlerine başlamadan önce hazırlanan teknik raporla birlikte risk analizi de yapılmıştır. Yapılan bu risk analizi çalışmalarında delme ve patlatma operasyonları öncesinde, sırasında ve sonrasında karşılaşılabilecek riskler tanımlanarak alınacak önlemler ortaya konulmuştur.

#### 3.2 Rapor Hazırlık Süreci

Sahada yapılan incelemelerin ve ilgili dokümanların temin edilmesinden sonra yapılacak olan delme patlatma çalışmalarına yol gösterecek raporun hazırlanması sürecine başlanmıştır. Bu rapor kapsamında aşağıdaki konuların yeterince açık olarak ortaya konulması hedeflenmiştir:

- Atım bölgelerinin, yakınında bulunan risk altındaki unsurlara olan mesafeleri dikkate alınarak risk derecesine göre gruplandırılması (Şek. 1),
- Atım bölgesi çevresinde bulunan çeşitli unsurlar için sarsıntı limit değerleri belirlenmesi,
- Belirlenen limit değerlerini dikkate alan delme patlatma tasarımının yapılması,
- Genel kabul gören bir kaynaktan faydalanılarak mesafeye bağlı gecikme

başına kullanılacak patlayıcı madde miktarlarının hesaplanması,

- Kaya fırlaması modellemesinin yapılarak emniyet mesafelerinin belirlenmesi

#### 3.2.1 Çeşitli yapılar ve unsurlar için sarsıntı limiti değerlerinin belirlenmesi

Patlatmalardan kaynaklı sarsıntı limitleri üzerine çalışmalar, önceleri binalar üzerine yoğunlaşmış, başka yapılar ve/veya unsurlar üzerine çalışmalar ise sınırlı kalmıştır. Ancak sonraları sadece binaların ve insanların değil, çalışılan bölgenin yakınlarındaki çeşitli unsurların ve/veya yapıların da dikkate alınması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu yapılar baraj, köprü, tünel vb. mühendislik yapıları veya boru hatları, su kuyusu, siyanür tankları, kırıcı tesisi vb. çok değişik unsurlar olabilir. Bu çalışmaya konu olan proses tesisi temel kazı işleri kapsamında yapılması planlanan patlatmalardan etkilenmesi muhtemel yapılar ve unsurlar için belirlenen titreşim limitleri aşağıda verilmiştir:

- Fırtına Havuzu	: 50 mm/s
- Kırıcı Tesisi	: 50 mm/s
- SART Tesisi	: 50 mm/s
- Yüksek Gerilim Direği	: 50 mm/s
- Ofis Binaları	: 25 mm/s
- Siyanür Havuzları	: 8 mm/s
- ADR Tesisi	: 8 mm/s

Sarsıntı limit değerlerinin belirlenmesi sırasında literatür taraması yapılırken özellikle benzer genişleme çalışması yapan maden firmalarının uzman kuruluşlara hazırlatmış oldukları teknik raporlardan da faydalanılmıştır.

Fırtına havuzu olarak adlandırılan yapı minyatür bir kaya dolgulu baraj şeklinde inşa edilmiştir. Bu nedenle Fırtına Havuzu için izin verilen sarsıntı üst değeri 50 mm/s seçilmiştir. Bu değer seçilirken ABD Reklamasyon Bürosu (US Brue of Reclamation (Scott,2008)) tarafından toprak dolgulu barajları patlatma kaynaklı sarsıntıdan korumak için uygulanan standart 4 inch/s PPV değeri göz önüne alınmıştır. Yine de daha emniyetli tarafta kalmak adına Barajların Güvenliği Bölümü (Division of Safety of Dams- DSOD) Kaliforniya Temsilciliği'nin Las Virgines Rezervuar



alanındaki ana baraj yakınlarına inşa edilecek 5 MG tank için yapılacak patlatmalı kazı çalışmalarında önerdiği 2 inch/s limit değerinin Fırtına Havuzu için de uygulanmasına karar verilmiştir (AECOM, May 2011, Revised July 2011, Evaluation of Blasting Excavation Proposed 5 MG Tank at Las Virgenes Reservoir, page 12).

Fırtına Havuzuna yakın olan Kırıcı Tesisi için de 50 mm/s değeri uygun görülmüştür. Tesisin çalışırken çok daha büyük sarsıntılara maruz kalacağı bir gerçektir ama Fırtına Havuzu için seçilen değer burası için de kullanılmasına karar verilmiştir.

Yüksek Gerilim Hattı (YGH) Direği için benzer bir çalışmada 75 mm/s değeri verilmiştir (Rorke, A.J., November 2011, (Blasting Impact Assessment for the proposed New Largo Colliery based on New Largo Mine Plan 6, page 21). Yazarlar tarafından yapılan değerlendirme sonucu ise kazı alanı yakınında bulunan YGH direği için 50 mm/s limit değeri uygun görülmüştür.

Siyanür havuzları için titreşim limit değeri olarak, NORME DIN 4150 Standartı ile İsviçre standardının tarihi ve sarsıntıya duyarlı hassas yapılar için öngördüğü 8 mm/s değeri seçilmiştir.

### 3.2.2 Kaya Fırlaması Modellemesinin Yapılması

Patlatma kaynaklı kaya fırlamasının tahminine yönelik çeşitli modeller bulunmaktadır. Bu bildiri konusu çalışma kapsamında **Terrock** modellemesi kullanılmıştır. Bu model rapor edilmiş çok sayıda kaya fırlaması kazasının analiz edilmesi ile oluşturulan güncel bir çalışmadır. Bu yaklaşım, planlanan tesis kazısı alanında yapılacak patlatmaların yaratacağı kaya fırlaması etki mesafeleri ve kontrolü açısından sağlıklı sonuçlar vermiştir.

#### 3.2.2.1 Kaya fırlaması – yük bölgesi

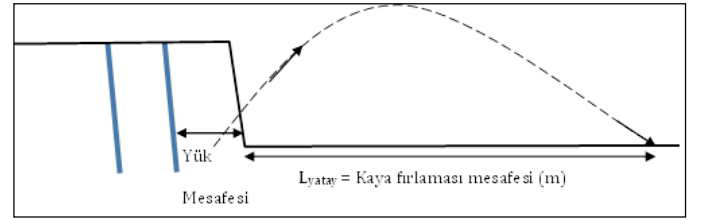
**Terrock** sağlam kaya yapılı metal madenlerinde potansiyel kaya fırlaması mesafesinin delik çapı ve en düşük yük mesafesine bağlı denklemi aşağıdaki gibi vermektedir:

$$L = K_f^2 / g (\sqrt{m/B})^{2.6} \sin 2\theta \quad (1)$$

$L_{\text{yatay}}$  = Kaya fırlaması mesafesi (m)  
 $m$  = Metre başına şarj konsantrasyonu (kg)  
 $B$  = Minimum yük mesafesi  
 $K_f$  = Kaya fırlaması sabiti (20 – 27)  
 $\theta$  = Fırlama açısı  
 $L_{\text{max}}$  = 45 derecelik açıda maksimum fırlama mesafesi

Bu modellemeye göre yük mesafesi azaldıkça yük mesafesine bağlı olarak oluşacak kaya fırlaması mesafesi artmaktadır. Kaya fırlama mesafeleri doğal olarak serbest yüzey yönünde (ayna önüne doğru) fazla, ayna gerisine doğru ise nispeten az olmaktadır (Şek. 2).

Şekil 2. Kaya fırlaması – ayna önü



Patlatma aynasının önüne doğru gerçekleşecek kaya fırlaması mesafesi ( $L_{\text{yatay}}$ ) patlatma tasarımında verilen yük mesafesine ( $B$ ) bağlı olarak değişmektedir.

#### 3.2.2.2 Kaya fırlaması – sıkılama bölgesi

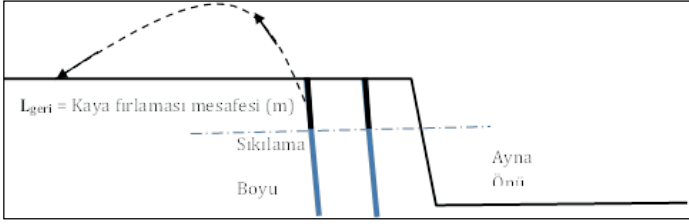
Patlatma aynasının gerisine doğru kaya fırlamasının iki sebebi vardır. Bunlardan birincisi krater etkisidir. Kontrollü patlatmalarda sıkılama boyu fazla bırakıldığından tesis kazı alanlarında patlatma gerilerine doğru krater etkisi nedeniyle kaya fırlaması olmayacağı düşünülmüştür.

Diğer bir sebep ise sıkılama bölgesinin boşalmasıdır. Bu durumda olası potansiyel kaya fırlaması mesafesi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$L = K_f^2 / g (\sqrt{m/SH})^{2.6} \sin 2\theta \quad (2)$$

$L_{\text{geri}}$  = Kaya fırlaması mesafesi (m)  
 $M$  = Metre başına şarj konsantrasyonu (kg)  
 $K_f$  = Kaya fırlaması sabiti (20 – 27)  
 $\theta$  = Fırlama açısı (Delik açısı – düzeltilerek bulunur) (örneğin 90°'lik dik deliklerde 10°'lik bir yayılma payı gözetilerek fırlama açısı 80° olarak alınır)  
 $SH$  = Sıkılama boyu

Patlatma aynasının gerisine doğru oluşacak kaya fırlama mesafesi ( $L_{geri}$ ) sıkılama mesafesine (SH) bağlı olarak değişmektedir (Şek. 3).



Şekil 3. Kaya fırlaması - ayna gerisi

### 3.2.2.3 Kaya fırlaması – yükseklik

Kaya fırlamalarının yükseklikleri ayna önünde yük mesafesine (B) ve ayna gerisinde sıkılama boyuna (SH) bağlı olarak değişmektedir (Şek. 4).

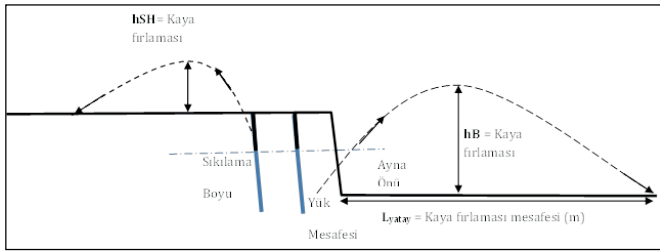
$$L = K_f^2/g (\sqrt{m/B})^{2,6} \sin 2\theta \quad (3)$$

- Yük mesafesine göre

$$L = K_f^2/g (\sqrt{m/SH})^{2,6} \sin 2\theta \quad (4)$$

- Sıkılama boyuna göre

- H** = Kaya fırlaması yüksekliği (m)
- m** = Metre başına şarj konsantrasyonu (kg)
- B** = Yük mesafesi (m)
- SH** = Sıkılama boyu (m)
- K<sub>f</sub>** = Kaya fırlaması sabiti ( 20 – 27)
- θ** = Fırlama açısı



Şekil 4. Kaya fırlaması - yükseklik

### 3.2.2.4 Birinci risk grubu - kaya fırlama projeksiyonu

Altın Madeni işletmesindeki proses tesis temel kazıları kapsamında yapılacak patlatma alanları yakınında farklı mesafelerde farklı madencilik yapıları bulunmaktadır. Patlatma alanları, madencilik unsurlarına olan uzaklıklarına göre yüksek derecede ve orta derecede olmak üzere iki farklı risk grubunda ele alınmıştır.

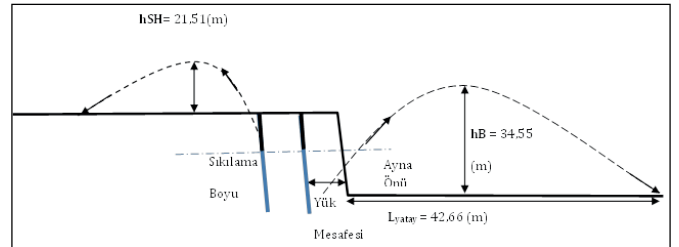
Fırtına havuzuna en yakın uzaklığı 20 m olan patlatma bölgesi ve enerji nakil hattının hemen altında bulunan, hattın sağında ve solunda kalan 15 metrelik bölüm **birinci derecede risk grubunda** tanımlanmıştır.

Birinci derecede riskli olarak tanımlanan bu bölgelerde yapılacak patlatmalarda oluşacak kaya fırlamasının kontrol altında tutulabilmesi amacıyla önerilen sıkılama boyları ve hesaplanan tahmini kaya fırlaması mesafeleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Risk grubu I – kaya fırlama mesafeleri

Risk Grubu I	Delik Boyu (m)	Sıkılama Boyu (m)	Yük Mesafesi (m)	Kaya Fırlama Mesafesi L geri (m)	Kaya Fırlama Mesafesi L yatay (m)	Kaya Fırlama Mesafesi hB (m)	Kaya Fırlama Mesafesi hSH (m)
	4,00	3,00	2,50	6,52	42,66	34,55	21,51
<b>Bölge I ve IIc</b>	5,00	3,50	2,50	4,37	42,66	34,55	14,40
	6,00	4,00	2,50	3,08	42,66	34,55	10,18
	7,00	4,00	2,50	3,08	42,66	34,55	10,18
	7,50	4,00	2,50	3,08	42,66	34,55	10,18

Hesaplanan kaya fırlaması uzaklıklarına bağlı olarak I. bölgenin patlatma yönü fırtına havuzu gözetilerek oluşturulmuştur.



Şekil 5. Risk grubu I için hesaplanan kaya fırlama mesafeleri

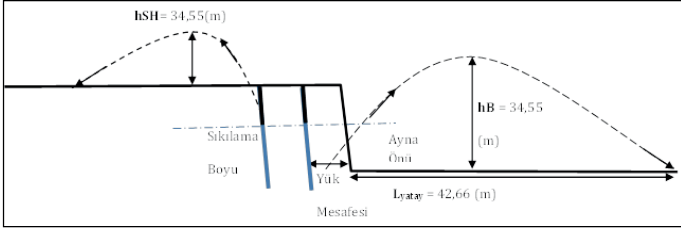
### 3.2.2.5 İkinci risk grubu - kaya fırlama projeksiyonu

Bölüm 3.2.2.4’te tanımlanan I. derecede risk grubu dışında kalan tüm patlatma alanları II. derecede risk grubunda tanımlanmıştır. İkinci derecede riskli olarak tanımlanan bu bölgelerde yapılacak patlatmalarda oluşacak kaya fırlamasının kontrol altında tutulabilmesi için önerilen sıkılama boyları ve hesaplanan tahmini kaya fırlaması mesafeleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Risk grubu II – kaya fırlama mesafeleri

Risk Grubu 2	Delik Boyu (m)	Sıklıkma Boyu (m)	Yük Mesafesi (m)	Kaya Fırlama	Kaya Fırlama	Kaya Fırlama	Kaya Fırlama
				Mesafesi L geri (m)	Mesafesi Lyatay (m)	Mesafesi hB (m)	Mesafesi hSH (m)
<b>Bölge</b>	4,00	2,50	2,50	10,47	42,66	34,55	34,55
<b>II, IIa,</b>	5,00	3,00	2,50	6,52	42,66	34,55	21,51
<b>IIb,</b>	6,00	3,00	2,50	6,52	42,66	34,55	21,51
<b>IIIa,</b>	7,00	3,50	2,50	4,37	42,66	34,55	14,40
<b>IIIb,</b>	7,50	3,50	2,50	4,37	42,66	34,55	14,40

Hesaplanan kaya fırlaması uzaklıklarına bağlı olarak IIa ve IIb bölgelerinin patlatma yönleri enerji nakil hattının tersine seçilmiştir.



Şekil 6. Risk Grubu II için hesaplanan kaya fırlama mesafeleri

### 3.2.2.6 Güvenlik mesafelerinin belirlenmesi

Birinci risk grubu ve ikinci risk grubu için kaya fırlaması hesaplamaları Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilmiştir.

Birinci dereceden risk grubu için patlatma tasarım parametreleri uygulandığında kaya fırlaması aynanın önüne maksimum 42,66 m, aynanın arkasına ise maksimum 6,52 m olarak hesaplanmıştır. İkinci dereceden risk grubu için verilen tasarım parametrelerine göre ise kaya fırlaması aynanın önüne maksimum 42,66 m, aynanın arkasına maksimum 10,47 m olarak hesaplanmıştır.

Minimum yasak bölge aşağıdaki güvenlik faktörlerinin uygulanması ile belirlenmiştir:

- Tesis ve makine ekipmanları için güvenlik katsayısı (G.K.)= 2
- Personeller için güvenlik katsayısı (G.K.)= 4

Çizelge 1 ve Çizelge 2’de verilen değerler hesaplamalar sonucu bulunan maksimum değerlerdir. Gerek makine ekipman gerekse insanlar için oluşturulması gerekli emniyet

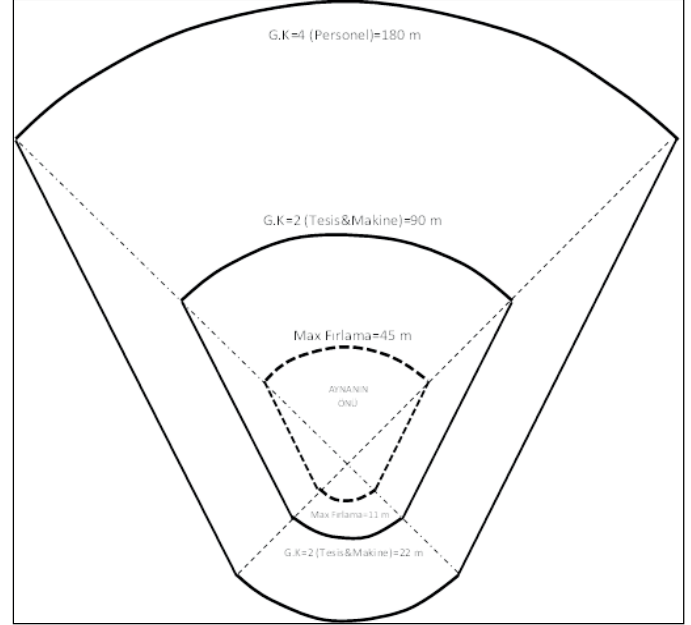
mesafeleri ise Terrock Modeline göre 2 ve 4 katsayıları ile çarpılarak bulunmuştur.

Hesaplamalar sonucu bulunan aynanın önü için maksimum kaya fırlaması mesafesi olan 42,66m (~45m) temel alındığında;

Tesis, makine ve ekipmanlar için emniyet mesafesi:  $45 \times 2 = 90 \text{ m}$

İnsanlar için emniyet mesafesi:

$45 \times 4 = 180 \text{ m}$  olmaktadır.



Şekil 7. Belirlenen güvenli mesafeler

Belirlenen bu güvenli mesafe alanı, kontrollü patlatma parametreleri nedeniyle işletmenin rutin güvenli mesafe cetveline göre düşük çıkmıştır.

Bununla birlikte işletmenin daha önceden makine, tesis (>150) m ve insanlar (>300m) için belirlediği emniyet mesafeleri bu çalışma alanı için de aynen kabul edilmiştir.

### 3.2.3 Mesafeye ve Risk Grubuna Bağlı Olarak İzin Verilen Titreşim Değerlerinin Hesaplanması

Proses tesisi temel kazısı patlatma alanlarının yakınında farklı mesafelerde değişik madencilik unsurları bulunduğundan bu alanlar 4 bölgeye ve risk gruplarına göre ise 2 ayrı gruba ayrılmıştır (Şek.1). Uluslararası literatür kullanılarak uygun bir sarsıntı denklemi seçilmiş ve belirlenen limit titreşim değerlerine göre mesafeye bağlı olarak gecikme başına kullanılacak patlayıcı madde miktarı hesaplanmıştır. Ayrıca Çizelge 6 ve Çizelge 7’de verilen gecikme başına patlayıcı

miktarları kullanıldığında farklı mesafelerde oluşacak PPV değerlerinin kontrolü yapılmıştır (Çiz. 3-4).

Patlatmalar sırasında oluşabilecek tahmini titreşim değerleri, Uluslararası Patlayıcı Mühendisleri Derneği (ISEE) tarafından yayımlanan Blasters' Handbook adlı kaynağın 18. baskısının 567. sayfasındaki *Patlatma Yapılan Çeşitli Endüstriler İçin Titreşim Genliği Denklemleri* tablosunda bulunan Maden/Taş Ocakları formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Aşağıda verilen bu denklem yardımıyla her iki risk grubu için, kullanılacak patlayıcı miktarlarının farklı mesafelerde yaratacağı titreşim değerleri hesaplanmıştır (Çiz. 3-4);

$$PPV = K \times (SD)^{-1,82} \quad (5)$$

$$SD = R / \sqrt{W} \quad (6)$$

PPV = Vibrasyon hızı (mm/sn)

SD = Ölçekli mesafe (m)

W = Gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarı (kg)

R = Patlatma alanına olan uzaklık (m)

K = 1090

### 3.2.4 Tasarım Parametrelerin Belirlenmesi

Ofis çalışmaları kapsamında en dikkat edilmesi gereken konulardan biri de uygulamada kullanılacak olan delme-patlatma parametrelerinin ihtiyacı karşılayacak sonuçları elde edecek şekilde belirlenmesiydi. Kullanılacak parametrelerle yapılacak olan delme-patlatma çalışmaları, kazı hızını arttırırken atımların çevredeki unsurlar üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi olmamalıydı. Güvenliğin önde tutulduğu ama kazı hızını da düşünen bir tasarım yapılarak uygulamalar sırasında atım sonuçlarının değerlendirilmesi ve uygun revizyonların yapılması kararlaştırılmıştır. Delme işinin pratikliği, patlatmanın sarsıntı ve kaya fırlaması gibi olumsuz etkileri düşünülerek delik boyunun en fazla 7,50 m, en az 4,00 m olması uygun görülmüştür. Atım yapılacak bölgenin risk derecesine göre 2 farklı tasarım parametreleri belirlenmiştir. Yüksek Gerilim Hattının altında veya Fırtına Havuzunun çok yakınında vb. risk düzeyi yüksek olan

bölgelerde yapılacak atımlarda Risk Grubu-I Delme Patlatma Parametreleri (Çiz. 6) ile çalışılması, diğer bölgelerde ise Risk Grubu-II Delme Patlatma Parametreleri (Çiz. 7) ile çalışılması planlanmıştır (*Madser, Kasım 2015, sayfa 32-33*).

## 4 SAHA ÇALIŞMALARI

Tesis kazısı kapsamında yapılacak olan kontrollü patlatma uygulamalarına başlamadan önce yapılan tasarımların pratikte uygulanabilirliğini ve sonuçlarını görmek amacıyla denemeler yapılmasına karar verilmiştir. Ayrıca kazı işinde patlayıcıya alternatif olabilecek ürünlerin kullanıldığı bir deneme yapılmıştır.

Bu amaçla tesis alanı kazısında 1.derece risk bölgesinde patlatma yapılacakmış gibi 3 farklı deneme gerçekleştirilmiştir. İlk 2 deneme patlayıcı madde ile 3.deneme ise piroteknik bir malzeme olan kaya kırıcı ürünü ile yapılmıştır.

### 4.1 Yapılan Denemelerin Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 4.1.1 Birinci Deneme

22.01.2016 tarihli deneme atımı en riskli bölge olan Yüksek Gerilim Hattı'nın (YGH) altında yapılacakmış gibi tasarlanmıştır. Bu denemede Çizelge 5' te belirtilen 1.derece risk grubu delme-patlatma parametrelerine uygun olarak 25 adet farklı boylarda delikler delinmiştir. Tasarıma uygun olarak şarjlanan deliklerin üstü patlatma örtüsü ile kapatılmıştır (Şek. 8-9).

Çizelge 5. Delme-Patlatma Parametreleri

Parametreler	
Delik Çapı	: 89 mm
Delik durumu	: Kuru
Delik Sayısı	: 6 ad
Delik Boyu	: 5,65 m - 6,40 m
Sıkılama Mesafesi	: 4,0 m
Yük mesafesi	: 2.5 m
Delikler arası mesafe	: 2.5 m
Sıkılama	: 2.5 m
Şarj Boyu	: 1,65 m-2,40 m
Hacim	: $\approx 31,25 \text{ m}^3/\text{delik}$
Ana patlayıcı	: ANFO
Ana patlayıcı miktarı	: 8,25 kg-10,0 kg
Yemleme	: 0.5 kg
Ateşleme sistemi	: Elektriksiz Kapsül
Özgül Şarj	: 0,264 kg/m <sup>3</sup>



Şekil 8. Patlatma Bölgesi

Bu denemede Şekil 8’de görüldüğü gibi 25 adet delik delinmiş fakat 6 deliğin patlatılmasına izin verilmiştir. Şarjlanan deliklerin üzeri 3 adet patlatma örtüsü ile kapatılmıştır (Şek. 9). Atım sonucunda herhangi bir kaya fırlaması olmamıştır.



Şekil 9. Patlatma Bölgesi

Bu denemede, I.derece risk grubu içinde yer alan Yüksek Gerilim Hattı direği için belirlenen sarsıntı limiti değeri olan 50 mm/s değerinin kontrolü için 3 ayrı noktadan ölçüm yapılmıştır. 1.ölçüm yerinin patlatma alanına uzaklığı 172 m ve ölçülen sarsıntı değeri 1,955 mm/s, 2.ölçüm yerinin patlatma alanına uzaklığı 293 m ve ölçülen sarsıntı değeri 1,143 mm/s, 3.ölçüm yerinin patlatma alanına uzaklığı 263 m ve ölçülen sarsıntı değeri 1,55 mm/s olarak ölçülmüştür. Patlatma sonrası ölçülen sarsıntı değerleri belirlediğimiz 50 mm/s’lik üst limit değerinin çok altında gerçekleşmiştir.

#### 4.1.2 İkinci Deneme

22.01.2016 tarihinde yapılan deneme için delinmiş 19 adet deliğin dolun işlemi Çizelge 5’de belirtilen tasarıma göre gerçekleştirilmiştir. Birinci denemeden farklı olarak deliklerin üzeri patlatma örtüsü ile kapatılmamış ancak ölçüm noktaları aynı kalmıştır. 1.ölçüm noktasında sarsıntı değeri 1,00 mm/s, 2.ölçüm noktasında sarsıntı değeri 0,696 mm/s ve 3.ölçüm noktasında sarsıntı değeri ise 1,10 mm/s olarak kaydedilmiştir. Her iki denemede de gecikme başına maksimum 10,5 kg patlayıcı madde kullanılmıştır. Delik sayısının artmasına rağmen önceki denemede olduğu gibi ölçülen titreşim değerleri YGH direği için izin verilen 50 mm/s’lik üst limit değerinin çok altında kalmıştır.

Patlatma örtüsü kullanılmaksızın yapılan ikinci denemenin sonucu, kaya fırlaması ve sarsıntı açılarından oldukça başarılı olmuştur. Her iki deneme atımlarının uygulama pratiği ve sonuçları değerlendirilmiş yapılan

tasarımların uygulanabilirliği üzerinde fikir birliğine varılmıştır.

#### 4.1.3 Üçüncü Deneme

Bu deneme piroteknik bir ürün olan kaya kırıcı ile yapılmıştır. Bu ürünün temel özelliği uygun şartlar sağlandığında kayada çatlak oluşturmaktır. Patlayıcı maddeler gibi kayada bir öteleme işlemi yapamamaktadır. Ayrıca bu ürün ile çok sıralı atımlar gerçekleştirilememektedir.

İlk iki denemenin yapıldığı yerde 3 m derinliğinde, delikler arası mesafe 1,5m ve yük mesafesi 2 m olacak şekilde 10 adet delik delinmiştir. Her delik 0,5 kg'lık bir kartuş ile şarjlanmış ve 0-5 mm boyutunda nemli kum ile sıkılama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şek. 10). 10 adet delik birbirine seri olarak bağlanmış ve patlatılmıştır.

Yapılan bu deneme oldukça başarısız sonuçlanmıştır. Patlatılan alanın yüzeyinde herhangi bir kırılma, çatlak meydana gelmemiş, patlatma sonrası alanın kazılması esnasında yükleyici makinenin çalışma performansına herhangi bir katkı yapamamıştır.



Şekil 10. Kaya kırıcı ürünü

Sonuç olarak aynı formasyonda ve aynı yerde 3 farklı deneme yapılmış olup ilk iki deneme uygulama pratiği ve sonuçları açısından öngörülen şekilde gerçekleşmiştir. Ancak kaya kırıcı kullanılan 3. deneme başarısız sonuçlanmıştır.

Bu denemelerden sonra, hazırlanan raporda yer alan tasarım parametrelerine bağlı kalınarak delme patlatmalı kazı işi

yapılmasına karar verilmiş ve bu kapsamda denemeler ile birlikte toplam 33 adet kontrollü patlatma gerçekleştirilmiştir.

#### 4.2 Kazı Hızını Arttırma Çalışmaları ve Elektronik Kapsül Kullanımı

Proje kapsamında patlatmalı kazı işleri devam ederken ateşleme sistemi olarak Elektriksiz Kapsül sistemleri kullanılmaktaydı. Ayrıca YGH'nın sağında ve solunda 15 m'lik bant içerisinde kalan bölge 1.risk grubunda tanımlanmış ve bu bölgede patlatma hasırı kullanılmadan atım yapılmaması uygun görülmüştü. Ancak işe başlamadan önce yapılan deneme amaçlı delme-patlatma uygulamalarında patlatma hasırının vinç yardımıyla serilmesi ve toplanmasının zaman alıcı olduğu görülmüştür. Patlatma hasırı kullanılarak 22.01.2016 tarihinde yapılan ilk deneme atımında, 3 m x 4 m boyutlarındaki 3 adet hasırın delikler üzerine serilmesi 30 dakikada yapılabilmektedir (*Madser, Şubat 2016, sayfa 4*). Bu durumda özellikle atımdan sonra gerekli kontrollerin yapılarak herhangi bir atım kesmesinin olmadığı ve tüm deliklerin patladığının tespit edilerek sahaya giriş izni verilmesi uzun zaman alacaktı. Patlatma hasırı ile yapılan deneme patlatmaları sırasında bu durum anlaşılmış ve atımdan sonra sahada kazı çalışmalarının hemen başlayabilmesi için atım kesmesi riskinin olmadığı ve patlamama riskini kesin olarak önceden tespit edilebildiği ateşleme sistemi arayışına girilmiştir. Bu ihtiyaçtan yola çıkılarak elektronik kapsüller gündeme gelmiştir. Bu kapsüllerin üreticileri davet edilerek detaylı bilgi alınmış kendilerine ihtiyacımız anlatılmıştır. Firma yetkilileri elektronik kapsüllerin kullanılmadan önce 3 kez (dolum sırasında, dolumdan sonra ve ateşleme cihazına bağlandıktan sonra) kontrol edildiğini ve herhangi bir arızalı kapsülün ya da bağlanmamış kapsülün tespit edilebildiğini uygulamalı olarak göstermiştir. Ayrıca elektronik kapsüllerin gecikmeleri delik içerisinde devam ettiğinden atım grubunda önce patlayan deliklerden fırlayan kaya parçalarının yüzey hattını kesmesi riski de ortadan kalkmaktaydı. Dolayısıyla YGH

altında patlatma hasarı kullanılan bölgede yapılacak atımlarda elektronik kapsül kullanımına karar verilmiştir. Böylece elektronik kapsüllerin kullanıldığı atımlarda, patlatmadan hemen sonra sahaya giriş izni verilebilirdi. Bu durum önemli bir zaman kaybını önleyecekti. Tüm hazırlıklar yapıldıktan sonra YGH altında yapılan patlatmalarda elektronik kapsüller kullanılmaya başlanmıştır. Elektronik kapsüller ile yapılan patlatmalar sırasında kaydedilen sarsıntı değerleri ile aynı mesafelerde elektriksiz kapsüllerin kullanıldığı atımlarda ölçülen sarsıntı değerleri karşılaştırılmış ve elektronik kapsüllerin kullanıldığı patlatmalarda ölçülen değerlerde anlamlı düşüşlerin olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, 03.03.2016 tarihinde elektronik kapsül ile yapılan atım, 01.03.2016 tarihinde elektriksiz kapsüller ile yapılan atım ile aynı yerde aynı parametreler ile yapılmış ve gecikme başına kullanılan patlayıcı madde miktarları ve ölçüm yapılan yerler sabit tutulmuştur. Bu iki atımın sonuçları karşılaştırıldığında, ölçülen titreşim değerleri açısından, ADR Tesisi-Siyanür Havuzlarının yakınındaki 1.ölçüm noktasında %52, herhangi bir madencilik unsuru bulunmayan 2.ölçüm noktasında %34 ve Fırtına Havuzu-Rom Pad yakınındaki 3. ölçüm noktasında ise %58 azalma söz konusu olmuştur (*Madser, March 2016*). Yazarların bu gözlemi bir rapor halinde işletme yetkilileri ile paylaşarak zaten pahalı ama ileri teknoloji bir ateşleme sistemi olan elektronik kapsüllerin ölçümlerle tespit edilen bu avantajından yararlanılabileceği görüşü kendilerine bildirilerek delik boyunun önce 7,50 m'den 10 m'ye daha sonra sonuçlarını değerlendirerek 12 m'ye çıkarılması önerilmiştir. Bu durumda birim zamanda devreye giren patlayıcı madde miktarının arttırılması da söz konusuydu. Firmanın izin vermesi ile delik boylarının kademeli olarak, önce en fazla 10 m'ye daha sonra en fazla 12 m'ye çıkarılması ve kazı hızının arttırılması hedeflenmiştir. 10 m'lik deliklerin kullanılması ile her atımda daha fazla hacim patlatılabilmiş ve aynı bölgede 2.kez delme patlatma işi yapılmasının önüne geçilmiştir. 10 m'lik deliklerin kullanıldığı atımların

sarsıntı açısından herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı görüldükten sonra delik boyunun en fazla 12 m'ye çıkarılmasına karar verilmiştir. 12 m boyundaki delikler ile yapılan atımlar sonucu kazı hızı artarken sarsıntı değerlerinin belirlenen limitlerin altında kaldığı görülmüştür.

## 5 SONUÇ

Söz konusu Altın Madeninde yapılmakta olan proses tesisi temel kazısı alanında ilk patlamalar 22.01.2016 tarihinde başlamış 13.05.2016 tarihinde son bulmuştur. Tesis alanında yapılan toplam kazı miktarı 208.717 m<sup>3</sup> olarak gerçekleştirilmiştir. Toplam kazının %82'si (170.154 m<sup>3</sup>) kontrollü/sakıncalı patlatma tekniklerine uygun delme patlatma yöntemi ile yapılmış olup, kalan %18'lik bölüm ise (38.563 m<sup>3</sup>) kırıcı-ekskavatör yardımı ile yapılmıştır.

Proje kapsamında minimum 4 m, maksimum 12 m arasında değişen 4711 adet delik delinmiştir. Doldurulamayan ve/veya ekskavatör vasıtasıyla kazılarak alınan toplam delik sayısı 705 adet olup, toplamda 4006 adet delik belirlenen parametrelere göre şarjlanmış ve patlatılmıştır.

Delme patlatma ile kazı yapılacak bölgeler konumlarına ve çeşitli unsurlara olan uzaklıklarına göre 4 farklı bölgeye, risk gruplarına göre ise 2 farklı gruba ayrılmıştır. Her bölge için patlatmalardan etkilenmesi muhtemel unsurlar, bunlara olan mesafeler ve izin verilen en yüksek titreşim sınır değerleri belirlenmiştir.

I.derece risk bölgesinde, yapılan atımlarda gecikme başına en az 5 kg, en fazla 17,5 kg ANFO kullanılarak 17 adet patlatma yapılmıştır. II. derece risk bölgesi için gecikme başına izin verilen ANFO miktarı en az 5 kg, en fazla 20 kg olarak seçilmiş ancak delik boylarının arttırılmasından dolayı gecikme başına kullanılan ANFO miktarı en az 20 kg, en fazla 37,5 kg olarak revize edilmiştir. Bu risk grubunda toplam 16 adet patlatma gerçekleştirilmiştir.

Yapılan 33 patlatmanın tamamında sabit 3 ayrı noktadan sarsıntı ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda ölçülen en yüksek ve en

düşük sarsıntı değerleri şu şekilde gerçekleşmiştir:

- ADR Tesisi ve Siyanür Havuzlarının bulunduğu bölgede minimum 0,539 mm/sn, maksimum 6,98 mm/sn,
- Ofis binalarının bulunduğu bölgede minimum 0,648 mm/sn, maksimum 3,746 mm/sn,
- Fırtına Havuzu- Kırıcı Tesislerinin bulunduğu bölgede minimum 1,712 mm/sn, maksimum 23,19 mm/sn,

Kaya fırlaması modellemesi ve mesafeye bağlı titreşim analizi yapılmış ve bu çalışmaların sonuçları dikkate alınarak sakıncalı kontrollü patlatma tekniklerine uygun tasarım parametreleri oluşturulmuştur. Proje sahasında delme patlatma çalışmalarına başlamadan önce yapılan tasarım parametrelerinin kullanıldığı deneme atımları yapılmıştır. Bu denemeler sırasında patlatma örtüsünün kullanımı da test edilerek kazı hızına olası etkileri tartışılmıştır.

Başlangıçta sadece patlatma örtüsü kullanılan alanlarda (patlatma örtüsü kaldırılmadan) temiz sirenini (sahaya giriş işareti) verebilmek adına kullanımı düşünülen elektronik kapsüllerin MADSER'in önerisi ile tüm sahada kullanımı gündeme gelmiştir. Bu kapsüllerin tüm sahada kullanımı ile sarsıntı miktarı arttırılmadan daha derin patlatma delikleri ile çalışma imkânı bulunmuştur. Böylelikle delme patlatmalı kazı hacimleri belirlenen emniyetli sarsıntı limitleri aşılmaksızın arttırılmıştır. Ayrıca delik boylarının arttırılması ile bazı bölgelerde 2. kez delme-patlatma işi yapılmasına gerek kalmamıştır.

Elektronik kapsüllerin sağladığı faydalar sonucunda delik boyları kontrollü olarak arttırılmıştır. Böylece kazı hızı arttırılarak projedeki patlatmalı kazı işi planlanan termin süresinden 1 ay önce bitirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- AECOM, May 2011, Revised July 2011, *Evaluation of Blasting Excavation Proposed 5 MG Tank at Las Virgenes Reservoir*, page 12
- ISEE, 2011, *Blaster's Hand Book*, 18th Edition, Cleveland, Ohio, USA, 567 pages.
- MADSER, Kasım 2015. *Altın Maden İşletmesi Kontrollü Patlatma Uygulamaları ve Yakın Madencilik Unsurları Üzerindeki Etkileri*
- MADSER, Şubat 2016. *Proses Tesisi Temel Kazısı Kontrollü Patlatma Uygulamaları Kapsamında Gerçekleştirilen Deneme Patlatmalarının Sonuçlarının Değerlendirilmesine Ait Teknik Rapor*
- MADSER, Mart 2016. *Technical Report*. Page 3.
- Rorke, A.J., November 2011, *Blasting Impact Assessment for the proposed New Largo Colliery based on New Largo Mine Plan 6*, page 21
- Terrock Consulting Engineers, 2014, *Blasting Assessment*, URS Australia Pty Ltd, Crocodile Gold Corporation, page 48-53



Çizelge 3. Risk Grubu-I İçin Oluşturulan PPV Değerleri

Gecikme Başına Patlayıcı Madde Miktarı (kg)	Uzaklık (m)																		
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
5,50	22,04	10,54	6,24	4,16	2,98	2,25	1,77	1,43	1,18	0,99	0,85	0,73	0,64	0,56	0,50	0,45	0,40	0,37	0,33
8,00	31,00	14,82	8,78	5,85	4,20	3,17	2,49	2,01	1,66	1,39	1,19	1,03	0,90	0,79	0,70	0,63	0,57	0,52	0,47
10,50	39,70	18,98	11,25	7,49	5,38	4,06	3,18	2,57	2,12	1,78	1,52	1,32	1,15	1,01	0,90	0,81	0,73	0,66	0,60
15,50	56,59	27,06	16,03	10,68	7,66	5,79	4,54	3,66	3,02	2,54	2,17	1,88	1,64	1,45	1,29	1,15	1,04	0,94	0,86
18,00	64,84	31,00	18,36	12,23	8,78	6,63	4,56	4,20	3,47	2,91	2,49	2,15	1,88	1,66	1,47	1,32	1,19	1,08	0,98

Çizelge 4. Risk Grubu-II İçin Oluşturulan PPV Değerleri

Gecikme Başına Patlayıcı Madde Miktarı (kg)	Uzaklık (m)																		
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
8,00	31,00	14,82	8,78	5,85	4,20	3,17	2,49	2,01	1,66	1,39	1,19	1,03	0,90	0,79	0,70	0,63	0,57	0,52	0,47
10,50	39,70	18,98	11,25	7,49	5,38	4,06	3,18	2,57	2,12	1,78	1,52	1,32	1,15	1,01	0,90	0,81	0,73	0,66	0,60
15,50	56,59	27,06	16,03	10,68	7,66	5,79	4,54	3,66	3,02	2,54	2,17	1,88	1,64	1,45	1,29	1,15	1,04	0,94	0,86
18,00	64,84	31,00	18,36	12,23	8,78	6,63	5,20	4,20	3,47	2,91	2,49	2,15	1,88	1,66	1,47	1,32	1,19	1,08	0,98
20,50	72,99	34,89	16,68	13,77	7,66	7,47	5,85	4,72	3,90	3,28	2,80	2,42	2,11	1,86	1,66	1,48	1,34	1,21	1,10

PARAMETRE	BİRİMİ	AYNA YÜKSEKLİĞİ (m)				
		7	6,5	5,5	4,5	3,5
Dip Delgi	: m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Delik Boyu	: m	7,5	7	6	5	4
Sıkılama Boyu	: m	4,00	4,00	4,00	3,50	3,00
Bir Delikten Elde Edilen Teorik Hacim	: m <sup>3</sup>	43,8	40,6	34,4	28,1	21,9
<b>Bir Deliğe Doldurulan Patlayıcı Madde Miktarları</b>						
Ana Şarj (ANFO) miktar	: kg	17,5	15	10	7,5	5
Yemleyici Miktar	: kg	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Kapsül Miktar	: adet	1	1	1	1	1
<b>Birim Tüketimler</b>						
ANFO	: kg/m <sup>3</sup>	0,400	0,369	0,291	0,267	0,229
Yemleyici	: kg/m <sup>3</sup>	0,011	0,012	0,015	0,018	0,023
Kapsül	: ad/m <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Delgi	: m/m <sup>3</sup>	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18

Çizelge 7. Risk Grubu-II Delme Patlatma Parametreleri

PARAMETRE	BİRİMİ	AYNA YÜKSEKLİĞİ (m)				
		7	6,5	5,5	4,5	3,5
p Delgi	: m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Delik Boyu	: m	7,5	7	6	5	4
Sıkılama Boyu	: m	3,50	3,50	3,00	3,00	2,50
Delik Mesafesi	: m	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Delikler Arası Mesafe	: m	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Bir Delikten Elde Edilen Teorik Hacim	: m <sup>3</sup>	43,8	40,6	34,4	28,1	21,9
<b>Bir Deliğe Doldurulan Patlayıcı Madde Miktarları</b>						
Ana Şarj (ANFO) miktar	: kg	20	17,5	15	10	7,5
Yemleyici Miktar	: kg	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Kapsül Miktar	: adet	1	1	1	1	1
<b>Birim Tüketimler</b>						
ANFO	: kg/m <sup>3</sup>	0,457	0,431	0,436	0,356	0,343
Yemleyici	: kg/m <sup>3</sup>	0,011	0,012	0,015	0,018	0,023
Kapsül	: ad/m <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Delgi	: m/m <sup>3</sup>	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18

# Metan Davranışının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Metodu ile Modellenmesi

## *Modelling of the Methane Behaviour by the Computational Fluid Dynamics*

G. Daloğlu, M. Önder

*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 26480, Batı Meşelik, Eskişehir*

**ÖZET** Yeraltı kömür ocaklarında sıklıkla meydana gelen kazaların başında metan kaynaklı kazalar gelmektedir. Türkiye Cumhuriyet tarihinin en büyük metan kazası, Kozlu'da meydana gelmiş olup, 263 çalışanın hayatını kaybetmiştir. Metan kazalarını önlemek amacıyla alınan tedbirlerden biri, ocak içine yerleştirilen gaz sensörleri ile düzenli metan konsantrasyon değerlerinin ölçülmesidir. Bu çalışmada, baca içerisinde beş farklı kesitte ve her kesitte beş farklı noktadan metan konsantrasyon değerleri alınmıştır. Daha sonra, hesaplamalı akışkanlar modeli (CFD) ile bu noktalardaki değerler modellenmiştir. Modellenen değerler, ölçülen değerlerle karşılaştırılarak aralarında anlamlı bir ilişki olduğu basit doğrusal regresyon analizi ile bulunmuştur. Böylece yeraltı kömür ocaklarında gaz sensörleri ile ölçüm alınamayan bölgelerde CFD metodu ile modelleme yapılarak, ocak güvenliği için bir ön tedbir alınabilecektir.

**Anahtar kelimeler:** metan, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, basit doğrusal regresyon analizi

**ABSTRACT** Methane-originated accidents are at the first reason of accidents that often occur in underground coal mines. The greatest methane accidents in the history of the Republic of Turkey have taken place in Kozlu and 263 workers died. In order to prevent methane accidents, the regular measurement of methane concentration values with gas sensors installed in the mine should be done. In this study, methane concentration values were taken at five different points of five different sections in the heading. Then, the computed fluid models (CFD) were used to model the values at these points. It provided that there is a significant correlation between the modelling and experimental values with linear regression analyses. Thus, precautions can be taken for the safety of the mine by modeling with CFD method in areas cannot be measured with gas sensors.

**Keywords:** methane, computational fluid dynamics, linear regression analyses

## 1 GİRİŞ

Metan, yeraltı kömür madenlerinde kazalara neden olan büyük bir etkidir. Metan yeraltında birçok istasyon noktasında ölçülmekle beraber, ölçüm yapmanın güç olduğu ya da ölçümü alınmayan noktalardaki tahmini Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics (CFD)) metodu kullanılarak yapılabilir. CFD modellemesi; Darcy' nin kanunu ile geçirgen

ortamdan geçen hava-metan karışımını, kömür-gaz yangını, toz durdurma, gaz dağılım tahmini, ocak yangını ve patlamalar, doğal yanma, ısı ve ocak iklimi ile ilgili çalışmalarda kullanılmaktadır.

Metan gazı ile ilgili literatür çalışmalarına bakıldığında; Edwards ve ark. (1995), hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ile ilgili ilk çalışmaları madencilik endüstrisine uygulamışlar ve havalandırma sistemlerinin

dizaynını gerçekleştirmişlerdir. Wala ve Kim (1985), bir madendeki metan konsantrasyonu ve hava akış davranışını dört mevsim için modellemiştir. Ren ve ark. (2005), CFD ile arındaki türbülans akışı ve göçükteki laminer akışı modellemiştir. Parra ve ark. (2006), CFD metodu ile farklı havalandırma sistemlerinde hava akışını analiz etmişlerdir. Torano ve ark. (2006), İspanya’da tali havalandırma sistemine bir kömür galerisinde CFD metodu ile hava akışını ve metan konsantrasyonunu tahmin etmeye çalışmışlardır. Vlasin ve ark. (2013), geridönümlü uzun ayakta ve hava dönüş yollarında metan davranışını hesaplamalı olarak modellemiştir. Kurnia ve ark. (2014), bir maden tüneline metan emisyon oranını ve metan hızını CFD metodu ile modellemiştir.

Yapılan bu çalışmalarındaki ana amaç, metan ile ilişkili kazaları azatmaktır. Türkiye’de 1983 yılından itibaren meydana gelen metan patlamaları Çizelge 1’de verilmektedir.

Çizelge 1. 1983 yılından sonra Türkiye’ de meydana gelen metan kazaları (TMMOB, 2010)

Yer	Yıl	Ölü sayısı
TTK/Armutçuk	7 Mart 1983	103
TTK/Kozlu	10 Nisan 1983	10
Yeni çeltek/Amasya	14 Haziran 1983	5
TTK/Amasya	31 Ocak 1990	5
Yeni çeltek/Amasya	7 Şubat 1990	63
TTK/Kozlu	3 Mart 1992	263
Yozgat/Sorgun	26 Mart 1995	37
Erzurum/Aşkale	8 Ağustos 2003	8
Karaman/Ermenek	22 Kasım 2003	10
Çorum/Bayat	9 Ağustos 2004	3
Kütahya/Gediz	21 Nisan 2005	18
Balıkesir/Dursunbey	2 Haziran 2006	17
Bursa/Mustafakemalpaşa	10 Aralık 2009	19
Balıkesir/Dursunbey	23 Şubat 2010	13
TTK/Karadon	17 Mayıs 2010	30
TOPLAM		636

Bu çalışmada amaç, CFD metodu kullanılarak Kozlu kömür ocağında metan konsantrasyon değerini modellemektir. Deneysel veriler, -560 m Milopera damarından sağlanmıştır.

## 2 HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (CFD)

CFD, nümerik metotlar kullanarak akışkan hareketini zaman ve uzaya göre değişimini tahmin etmek için, akış alanını sonlu sayıda hacimlere bölerek kullanılan bir yöntemdir. Hacimler arasındaki noktalara “nod” denir ve Navier-Stokes denklemleri çözümünden elde edilen sonlu sayıdaki denklem sistemi ile çözülür. Düğüm noktalarının sayısı, kullanılan çözüm yöntemine ve bilgisayar kapasitesine göre, hesaplama zamanı birkaç günden aya kadar uzayabilir (Duygu, 2014). CFD’ nin avantajlarını özetlersek; yeni tasarımlarda zaman ve maliyet tasarrufu sağlama, riskli çalışma şartlarını kapsayan sistemlerde ve deneysel olarak çalışılması zor olan sistemlerde güvenli çalışma imkânı vermektedir (Duygu, 2014).

CFD kullanarak başarılı bir analiz yapmak için aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

- 1) Model amacını belirlemek,
- 2) Model geometrisi ve ağı yaratmak,
- 3) Çözücü ve fiziksel modeli kurmak
- 4) Çözümü tamamlamak ve izlemek
- 5) Sonuçları değerlendirmek ve kaydetmek
- 6) Nümeriksel ve fiziksel parametrelerin yeniden gözden geçirilmesi gerekliliğini belirlemek (Vella, 2006).

Bu çalışmada standart k- ε epsilon modeli kullanılmıştır. Bu model, türbülans kinetik enerji (k) ve türbülans yayılma hızı (ε) olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik 1 ve 2’ de türbülans vizkozitesi ve türbülans yalıtkanlığı belirtilmektedir (Karkınlı vd., 2011):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \mu + \frac{\mu_k}{\sigma_k} \right] \frac{\partial k}{\partial x_i} + G_k + G_b + \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_\epsilon}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (2)$$

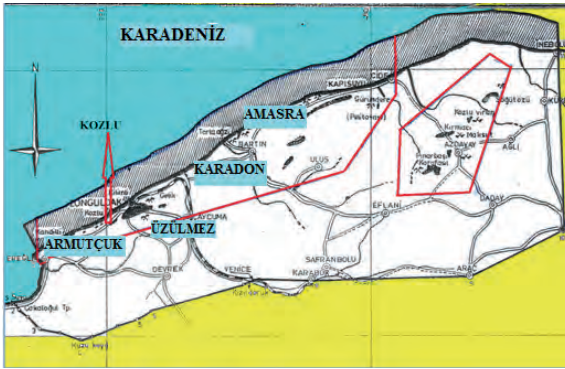
Burada;

k Türbülans kinetik enerji, (m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)

$\epsilon$  Türbülans kinetik enerji yayılma hızı, ( $m^2/s^3$ )  
 $\rho$  Yoğunluk, ( $kg/m^3$ )  
 $\mu$  Dinamik vizkozite, (Pa.s)  
 $\mu_t$  Türbülans vizkozitesi, (Pa.s)  
 $\sigma_k, \sigma_\epsilon$  Türbülans Prandtl sabitleri,  
 $C_1 \epsilon C_2 \epsilon C_3 \epsilon k - \epsilon$  türbülans modeli için model sabitleri,  
 $G_b$  Eğilime bağlı türbülans,  
 $G_k$  Türbülans kinetik enerji üretimi,  
 $Y_M$  Sıkışabilirliğin türbülans etkisi,  
 $C_1 \epsilon = 1.44, C_2 \epsilon = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0,$   
 $\sigma_\epsilon = 1.3$

### 3 MİLOPERA DAMARI

Kozlu taşkömürü kurumu, Karadeniz' in altında, Zonguldak' ın 8 km batısında, 12  $km^2$ ' lik bir alana sahip tek sert kömür üreten yeridir (Şekil 1). Kozlu formasyonu, Mesozoyik çağ ve Paleozoyik-Karbonifer çağda oluşmuştur. Yaklaşık 23 kömür damarından oluşur ve kalınlıkları 0.80-10.00 metre arasındadır. Toplam kalınlığı 550-800 metre arasındadır (TTK, 2009). Üretim bu damarın % 90' nın dan sağlanmaktadır.

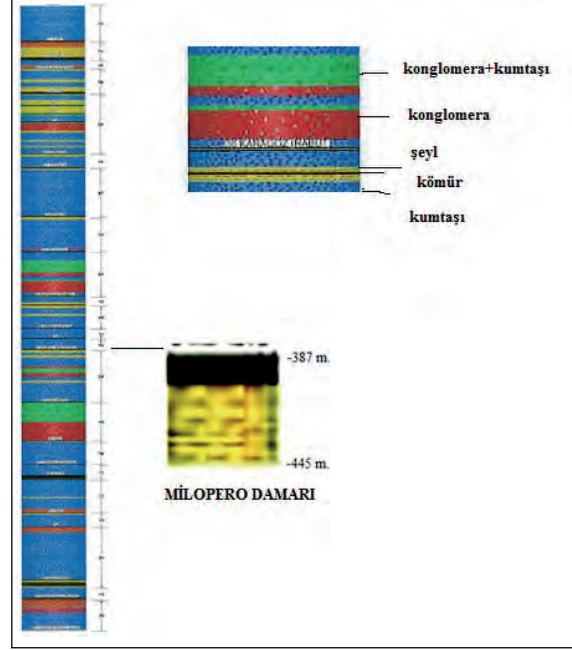


Şekil 1. Zonguldak Taşkömürü Havzası (Biçer, 2008)

Milopero kömür damarı en derin ve gazlı damar olup, 3.34 metre kalınlığa ve 700 eğime sahiptir. Kozlu kömür yatağının ortalama kömür özellikleri Çizelge 2' de ve stratigrafik yapısı Şekil 2' de verilmektedir. Rezerv miktarı 153.000 ton olup, pnömatik patlatma ile üretim yapılmaktadır.

Çizelge 2. Milopero kömürünün özellikleri

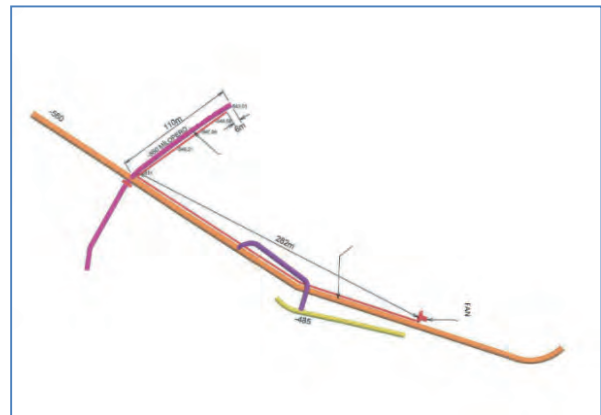
Kül (%)	12.46
Nem(%)	1.74
Uçucu madde (%)	25.87
Sabit-karbon(%)	59.93
Kalorifik değer (kcal/kg)	7312



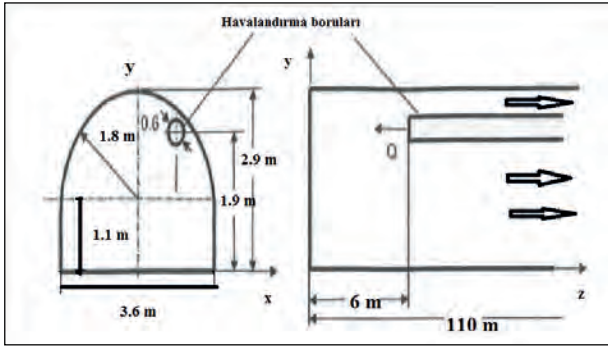
Şekil 2. Kozlu kömür yatağının stratigrafisi

### 4 DENEYSEL ÇALIŞMA

- 560 m Milopero damarı dairesel kesitli olup, 2.90 m yüksekliğinde ve 3.50 m genişliğinde ( $9.05 m^2$ ), vardiya başına ortalama ilerleme miktarı  $1.20 m^3$  dir. % 12.46 kül içeriği ile  $18.67 m^3/ton$  metan miktarına sahip bir kömür yatağıdır. Kat planı Şekil 3' de gösterilmektedir. Ayak uzunluğu 110 m, havalandırma boru çapı 0.6 m olmak üzere, vantüb arından 6 m uzaklığa yerleştirilmiştir (Şekil 4).

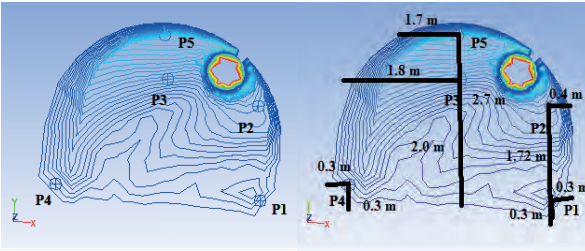


Şekil 3. Milopero kömür damarı kat planı



Şekil 4. Havalandırma sistemi

Hava hızı (m/s) ve metan konsantrasyon (%) değerleri, arından itibaren at  $d_1=6$  m,  $d_2=25$  m,  $d_3=40$  m,  $d_4=60$  m,  $d_5=80$  m ve  $d_6=110$  m uzaklıkta, her bir kesitte ve bir kesitte 5 farklı noktadan alınmıştır (Şekil 5). Hava hızları, 0.20 ve 20.00 m/s aralığındaki hızları ölçebilen TESTO 435-4 anemometresi ile belirlenmiştir.



Şekil 5. Her kesitte alınan 5 noktanın ve uzunluklarının gösterimi

## 5 NÜMERİKSEL MODEL ÇALIŞMASI

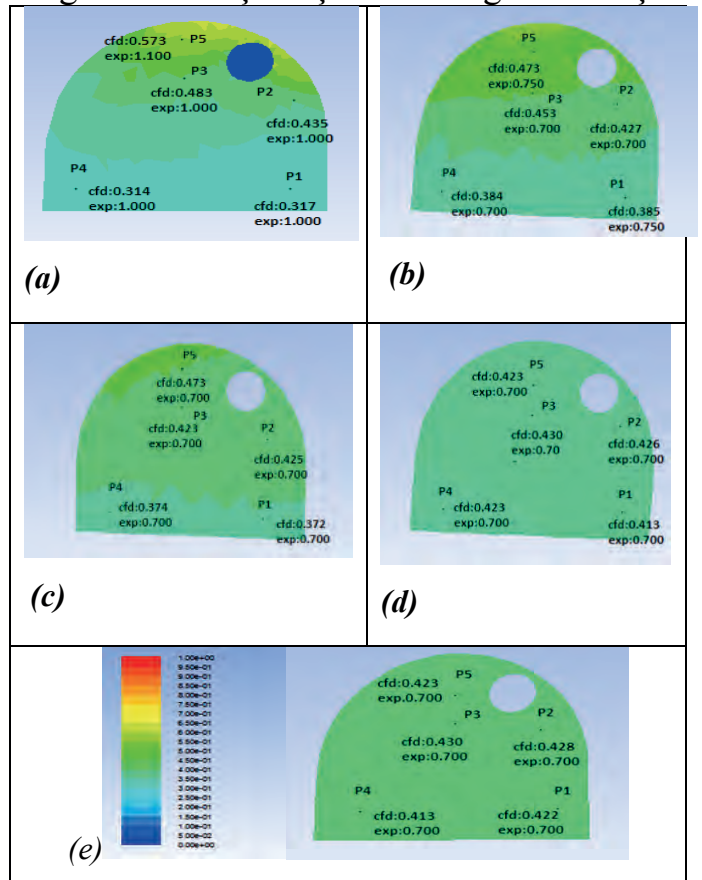
Bu çalışmada CFD tabanında çalışan Ansys®12.00 programı kullanılmış olup, metan gazı modellemesi için k-epsilon türbülanslı akış modeli uygulanmıştır. Üç sınır koşulu oluşturulmuştur. Bunlar; duvar, giriş ve çıkıştır. Giriş iki kısımdan oluşmuştur. Bunlar, kömür arından çıkan metan kütle miktarı ( $0.098 \text{ m}^3/\text{s}$ ), diğeri vantüb ağzından ocağa çıkan hava hızı değeridir ( $9.05 \text{ m/s}$ ). Çıkış; galeri ağzından çıkan metan ve hava gazı karışımıdır. Duvarlar, geriye kalan yüzeylerdir. 762,844 hücre sayısı ile orta sayıda tetrahedron mesh kullanılmış olup, mesh kalitesi 0.8 ile yüksektir. Isı transferi ve nemlilik dikkate alınmamıştır. Ocak sıcaklığı  $25^\circ \text{ C}$  ölçülmüştür. Çizelge 3' de, 5 kesitin 5 farklı noktasından alınan deneysel ve modelleme metan konsantrasyon değerleri verilmiştir.

Çizelge 3. Ortalama deneysel ve CFD metan konsantrasyon değerleri

Kesit	Sonuç	Ortalama metan konsantrasyon değerleri (%)				
		Noktalar				
		P1	P2	P3	P4	P5
6 m	CFD	0.317	0.435	0.483	0.314	0.573
	Deneysel	1.00	1.00	1.00	1.00	1.1
25 m	CFD	0.385	0.427	0.453	0.384	0.473
	Deneysel	0.75	0.7	0.7	0.7	0.75
40 m	CFD	0.372	0.425	0.423	0.374	0.473
	Deneysel	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
60 m	CFD	0.413	0.426	0.43	0.423	0.423
	Deneysel	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
110 m	CFD	0.422	0.428	0.43	0.413	0.423
	Deneysel	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

## 6 DENEYSEL VE CFD DEĞERLERİNİN SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Metan konsantrasyon değerleri, arından 6 m (a), 25 m (b), 40 m (c), 60 m (d) ve 110 m (e) uzaklıktaki her kesitten 5 farklı noktadan alınmıştır. Deneysel ve CFD değerleri sonuçları Şekil 6' da gösterilmiştir.



Şekil 6. Metan konsantrasyon değerlerinin 5 farklı noktada gösterimi.

Metan gazı arından 6 m' de ve tavanda en yüksek değerdedir (Şekil 6a). Her kesitte metan gazı, yoğunluğundan dolayı tavandan tabana doğru azalma göstermektedir (Şekil 6b-e). Metan değeri, arından 60 m' den 110 m' ye kadar hem deneysel (0.43) hem de CFD' de (0.70) sabit bir değere ulaşmaktadır (Şekil 6d-e). Yani metan değeri bu mesafeler arasında bacada eşit olarak dağılım göstermiştir.

## 7 SONUÇLARIN DOĞRUSAL REGRESYON ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

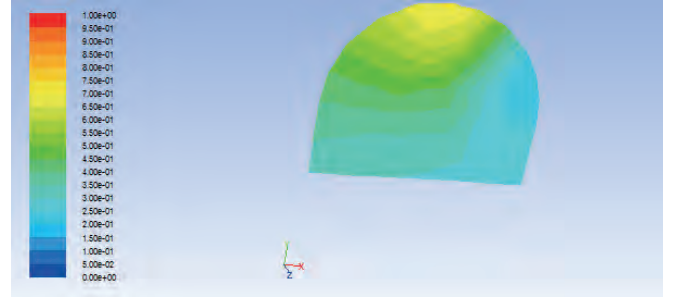
Deneysel ve CFD metan konsantrasyon değerlerinin arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını belirlemek için, korelasyon katsayısına (r) bakılmıştır. Korelasyon katsayısının  $r = \pm 1$  olması, değişkenler arası ilişkinin tam olduğuna,  $r = 0$  olması değişkenler arasında hiçbir ilişkinin olmadığını gösterir. Her noktanın korelasyon katsayısı (r) ve belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) değerleri Çizelge 4' de verilmiştir. Her noktanın  $R^2$  değeri 1' e yakın olduğu için gözlem ve modelleme değerleri arasında ilişki güçlüdür. Metan konsantrasyon değerlerine baktığımızda nokta 1 (P1) ve nokta 4 (P4) azalan (ters) bir ilişki varken, nokta 2 (P2), nokta 3 (P3) ve nokta 5 (P5) artan bir ilişki göstermektedir. Yani nokta 1 (P1) ve nokta 4 (P4)' de modelleme değeri artarken, deneysel değer azalmakta, nokta 2 (P2), nokta 3 (P3) ve nokta 5 (P5)' de deneysel değer artarken CFD değerleri de artmaktadır.

Çizelge 4. Ortalama deneysel ve modelleme değerlerin korelasyon katsayıları ve belirlilik katsayıları

Nokta	Ortalama metan konsantrasyon değeri (%)	
	Korelasyon katsayısı (r)	Belirlilik katsayısı ( $R^2$ )
1	-0.89	79.3
2	0.958	92.0
3	0.888	78.9
4	-0.883	77.9
5	0.935	87.4

Veri setinin güvenilir olduğu belirlendikten sonra, arından 3 m uzaklıkta

metan gazı dağılımı modellenmiş ve Şekil 7' de gösterilmiştir. Model incelendiğinde, vantüb tarafında metan konsantrasyonu oldukça düşük, yürüme alanı olarak adlandırılan serbest kesitte özellikle tavan kısmında metanın yaklaşık % 0.8'lik bir değere yaklaşabileceği bulunmuştur. Bu durum özellikle patlatma ile ilerleme durumlarında sıkıntı yaratabilecek bir seviyeye yaklaşmıştır.



Şekil 7. Arından 3 m mesafede metan gazının modellenmesi

## 8 SONUÇLAR

Bu çalışmada, Kozlu kömür ocağında bulunan bir baca içerisinden alınan metan konsantrasyon değerleri CFD metodu ile modellenmiştir. Metan arına yakın ve tavan kısmında yüksek olup, aşağı doğru azalma eğilimi göstermektedir. Metan değeri arından 60 m' den 110 m' ye kadar galerinin her yerine eşit olarak dağılmaktadır. Regresyon analizi ile deneysel ve CFD değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğu bulunmuştur. Bu nedenle; gerçekleştirilen çalışma CFD metodunun yeraltı kömür ocaklarında gaz ölçümü yapılamayan bölgelerdeki gazın tahmin edilmesi amacı ile kullanılabileceğini göstermiştir.

## KAYNAKLAR

- Biçer, N., 2008, Modular coal processing plants applied to Zonguldak Hardcoal, Slayt, 31.
- Duygu, A., 2014, Bulaşık makinesi tasarımı ve CFD analizi, Bitirme ödevi, Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 49 s.
- Edwards J.S., Ren T.X. and Jozefowicz R., 1995. Using CFD to solve mine safety and health

- problems, *APCOM XXV Conference*, Brisbane, July 9-14, 41-47 p.
- Karkınlı, A.E., Kurban, T., Kesikoğlu, A. and Beşdok, E., 2011, CFD based risk simulations and management on CBS, *Congress of Geographic Information Systems*.
- Kurnia, J. C., Sasmito, A. P., Mujumdar, A. S., 2014, CFD simulation of methane dispersion and innovative methane management in underground mining faces, *Applied Mathematical Modelling*, 38, 3467-3484.
- Parra, M.T., Villafruela, J.M., Castro, F. and Mendez, C., 2006, Numerical and experimental analysis of different ventilation systems in deep mines, *Building and Environment*, 41, 87-93.
- Ren, T.X. and Balusu, R., 2005, CFD Modeling of goaf gas migration to improve the control of spontaneous combustion in long walls, *Underground Coal Operators' Conference*, 258-264.
- Wala, A.M. and Kim B.J., 1985, Simulation of unsteady-state of airflow and methane concentration processes in mine ventilation systems caused by disturbances in main fan operation, *In P. Mopusset-Jones (ed.) Proc. Of The Second US Mine Ventilation Symposium*.
- Vella, A., 2006, Ventilation of highwall mining to control methane concentration at the Moura Mine, M.S. thesis, The University of Southern Queensland, 84 p.
- TBMMOB, *Madencilikte yaşanan iş kazaları raporu*, Haziran, 2010.
- Torano, J., Rodriguez, R. and Diego, I., 2006, Computational fluid dynamics use in the simulation of the death end ventilation in tunnels and galleries, *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 52, 113-121.
- TTK Faaliyet Raporu, 2009, *TTK Faaliyetleri 2003-2009*, No: 65, 75 s.

# Yeraltı Kömür Ocaklarında Kullanılan Bekleme Barajlarının Tasarımına Sayısal Bir Yaklaşım

## *A Numerical Approach to the Design of Stoppings in Underground Coal Mines*

K. Barış, Ö. Yılmaz

*Bülent Ecevit Üniversitesi, ZMYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Zonguldak*

**ÖZET** Kömür madenciliğinin gelişmiş olduğu ABD, Avustralya ve Almanya gibi ülkelerde yeraltı kömür ocaklarında inşa edilen bekleme barajlarının tasarımları ve inşaları ile ilgili bilgiler yönetmelik ve kanunlarla detaylı şekilde belirlenmiştir. Türkiye’de ise 28770 sayılı Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde yeraltı kömür ocaklarında kurulacak bekleme barajlarının hava sızdırmaz, basınca dayanıklı ve tahrip olmayacak şekilde kurulması gerektiği ve ocak gazları bakımından sürekli kontrol altında bulundurmaları gerektiği belirtilmiştir. Ancak, bu yönetmelikte herhangi bir dayanım ve inşa parametresi net olarak açıklanmamıştır.

Bu çalışmada; yeraltı kömür ocaklarında kullanılan bekleme barajlarının farklı statik patlama yükleri altındaki duraysızlık çözümlenmeleri, üç-boyutlu sonlu farklar programı FLAC3D kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Bu bağlamda, 345, 500, 872 ve 1000 kPa olmak üzere dört farklı patlama basıncı göz önünde bulundurulmuş, yapı malzemesi olarak dört farklı beton sınıfı seçilmiş (C14, C20, C30 C40), at nalı ve trapez kesitlerde toplam 512 sayısal analiz yapılmıştır. Sonuçlar, baraj duraylılığının baraj kalınlığına ve kesitin en büyük uzunluğuna bağlı olduğunu göstermiştir.

**ABSTRACT** The information on the design and construction of seals to be built in underground coal mines are described in detail by the legislation of important coal producers such as USA, Australia and Germany. In Turkey, Regulation on Occupational Health and Safety in Mines states that seals must be airtight, be constructed to withstand to pressure and not be destructed, and be monitored for mine gases. However, the regulation does not mention any design or construction parameter.

In this study, stability analyses of underground seals under different static explosion pressures were performed by 3-D finite difference code (FLAC 3D). For this purpose, four different explosion pressures (345, 500, 872 and 1000 kPa) were considered and four different concrete class (C14, C20, C30 and C40) were chosen. A total of 512 numerical analyses were done. Results showed that seal stability mostly depends on seal thickness and the longest dimension of the geometry.



## 1 GİRİŞ

Yeraltı kömür ocaklarında kullanılan bekleme barajları terkedilmiş ocak kesimlerini aktif ocak kesimlerinden ayırmak için kullanılan yapılardır. Ocakların bu kısımlarını havalandırmaya devam etmek ek maliyet getirmekte ve genellikle mümkün olmamaktadır. Özellikle, yanıcı/patlayıcı gaz karışımları ve kömür tozu nedeniyle patlama riski olan yeraltı kömür ocaklarında barajlar, ya bir yangını izole etmek ve/veya olası bir patlamaya engel olmak/sınırlandırmak ya da bu alan içerisinde ileride gerçekleşebilecek bir patlamayı izole etmek için gerekli yapılardır. Ayrıca, yeraltı ocaklarında kullanılan ve terkedilmiş ocak kesimlerinden aktif ocak kesimlerine su gelirini engelleyici özellikte barajlar da bulunmaktadır. Bazı durumlarda, terkedilmiş ocak kesimlerindeki su miktarı, yeraltı sularının sızması ve/veya su tutan formasyonlar nedeniyle aniden yükselebilmekte ve bu yükselme fark edilememektedir. Bu tür barajlar havalandırmaya yönelik barajlara benzerlik gösterse de bir patlama nedeniyle baraj üzerine uygulanan basınç çoğu durumda su gelirinden kaynaklı basınçtan yüksek olmaktadır.

Kalıcı barajların tasarımı ve yapımı oldukça önemlidir ve hizmet edecekleri amaca göre farklılık gösterir. Bir patlama ve/veya ocak yangını durumlarında, bir baraj tipik patlama basınçlarına ve yoğun sıcaklıklara dayanmalı, alevin, parçacıkların ve zehirli yanma ürünü gazların diğer ocak kesimlerine yayılımına engel olmalıdır (Ng et al., 1988). Ancak, riskin bir patlamadan ziyade su birikmesi olduğu bir ocakta, barajlar aktif ocak kesimlerini su akışını engellemek için inşa edilmektedir. Böylesi durumlarda barajlar hidrostatik basınca dayanabilmeli ve yapının bütünlüğü sudan etkilenmemelidir.

Kömür madenciliğinin yoğun olarak yapıldığı ABD, Almanya, Avustralya, Polonya ve Kanada gibi ülkelerde patlamalara ve suya dayanıklı barajların tasarımı ve inşası konularında yoğun araştırmalar yapılmış ve bulgular yasa ve yönetmeliklere dahil edilmiştir (Cybulski vd., 1967; Gaoertz ve Brune, 2013; Michelis

ve Kliene, 1989). Bu yasa ve yönetmeliklerle farklı ülkelerde basınç, tasarım ve inşa parametreleri kullanılmaktadır. Barajlara yönelik yasa ve yönetmelikler ileriki bölümlerde detaylı incelenecektir.

Ülkemizde ise bekleme barajları ile ilgili yasal düzenleme Ermenek ve Soma'da meydana gelen maden kazalarından sonra 2015'te revize edilmiştir. Bu değişiklikte birlikte her ne kadar yapılacak ile ilgili tanımlamalar yapılmış olsa da herhangi bir tasarım kriterine (basınç dayanımı, kullanılacak malzeme vb.) yer verilmemiştir. Bu nedenle, ülkemizdeki farklı yeraltı ocaklarında inşa edilen/edilecek barajların tasarımları ve inşa uygulamaları birbirlerinden oldukça farklı olmaktadır.

Çoğu durumda ülkemizde inşa edilen/edilecek barajlar uygun tasarım kriterleri yönünden eksik olmakta ve bu nedenle önemli güvenlik riskleri teşkil etmektedir. Bu kapsamda, bu çalışma, nümerik analiz yöntemi kullanarak farklı koşullar altında Türkiye'deki yeraltı kömür ocaklarında inşa edilecek barajlar için tasarım ve inşa kriterleri önermeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, bekleme barajlarının farklı statik yükleme koşulları altındaki duraysızlık çözümlenmeleri yapılmış ve sayısal olarak incelenmiştir.

## 2 TEORİK ALTYAPI

Dinamik çalışma koşullarına sahip olmaları nedeniyle yeraltı kömür ocaklarındaki çalışma koşulları hızlı bir şekilde değişebilmektedir. Göçertilmiş ve/veya önceden çalışılmış bölgelerde patlayıcı gaz karışımları birikebilmekte ve bu karışımlar çeşitli nedenlerle ateşlenebilmektedir. Barajlar böylesi ortamları aktif işyerlerinden izole etmek için kullanılırlar. Bu yapılar aynı zamanda içerilerinde oluşabilecek patlamalardan kaynaklanan aşırı basınca (overpressure) dayanabilecek ve böylece patlayıcı gaz karışımlarının aktif ocak kesimlerine yayılmasını engelleyecek şekilde inşa edilmelidirler.

Aşırı basınç baraj arkasındaki atmosferik basıncın üzerindeki basınçlardır. Patlama basınçları genellikle aşırı basınç olarak ifade

edilmektedir. Bir patlamadan kaynaklanan aşırı basınçlara dayanacak bir yapıyı tasarımılandırmak için ortaya çıkan aşırı basıncın büyüklüğünün hesaplanması gerekmektedir.

Havanın bileşiminin % 21 oksijen ve % 79 azot olduğunu kabul ederek, ideal stokiyometrik hava-metan karışımının % 9.5 metan içerdiği durum aşağıdaki gibi ifade edilir.



Kapalı sabit bir hacimde, adyabatik koşullar altında metanın yanması ideal gaz yasasına (Eşitlik 1) uyar.

$$Pv = nRT \quad (1)$$

Burada;  $P$  toplam basıncı (Pa),  $v$  hacmi ( $\text{m}^3$ ),  $n$  gazın mol sayısını (mol),  $R$  üniversal gaz sabitini ve  $T$  is sıcaklığı (K) temsil etmektedir. İdeal gaz yasasını kullanarak, ideal adyabatik koşullar altında kapalı ve sabit hacimli bir sistem için son ( $P_f$ ) ve ilk basınçların ( $P_i$ ) oranı son ( $T_f$ ) ve ilk ( $T_i$ ) sıcaklıkların oranına eşittir.

$$\frac{P_f}{P_i} = \frac{T_f}{T_i} \quad (2)$$

Reible (1999) metan-hava karışımının 298K'de stokiometrik yanmasında kaynaklanan son sıcaklığın 2591 K (2293°C) olduğunu bilirmiştir. Bu durumda;  $T_f/T_i$  8.70 (2591K/298K) olduğuna göre  $P_f/P_i$  oranı da 8.70 olmaktadır.

İlk basıncın ( $P_i$ ) 101.3 kPa olduğu kabul edildiğinde, bu durumda yukarıdaki orandan son basınç ( $P_f$ ) (*mutlak basınç*) yaklaşık olarak 881.3 kPa olarak bulunmaktadır. Bu basınç aynı zamanda sabit hacim basıncı (*constant volume pressure-CV*) olarak bilinmektedir. Bu durumda, basınçtaki artış, *ayar basıncı*, 780.0 kPa olmaktadır ve bu basınç *CV aşırı basıncı* olarak adlandırılır. Bu hesaplamada, reaksiyon kabının küçük ve küresel olduğu, metan-hava karışımının ateşlenmesinin kabin tam ortasında olduğu ve alev hızının ses hızından düşük olduğu belirtilmek yerinde olacaktır. Bu nedenle, hesaplanan değerler sonra tartışılacak olan *basınç yığılması* etkisini içermemektedir.

Metanın havada % 5 ve % 14.3 oranında ve en az % 12 oksijen varlığında patlayıcı olduğu bilinmektedir. Eğer metan-hava karışımı patlarsa aşırı basınç oluşturacaktır. Karışımın homojenliği böylesi bir patlamanın büyüklüğüne önemli ölçüde etki edecektir. Metan-hava karışımının stokiyometrik olmayan yanması düşük son sıcaklıklara yol açacaktır. Örneğin, Reible (1999) 25°C'de ve % 25 fazla hava varlığında bu sıcaklığın stokiyometrik yanmadan 372°C küçük olduğunu (1921°C) rapor etmiştir.

Metan-hava karışımının homojenliği yükseklik, sıcaklık, basınç ve barajlanmış bölgedeki metan salınımı gibi farklı parametrelerden etkilenmektedir. Metanın yoğunluğu havanın yoğunluğundan az olduğundan bir ocağın havalandırılan kısımlarında metan tabakalanmasının tavanda oluştuğu bilinmektedir. Ancak, havanın durgun olduğu barajlar gibi kapalı alanlarda zamanla difüzyon işleminin yüzdürme etkisine (*buoyancy effect*) üstün geldiği durumlarda homojen bir metan-hava karışımı oluşmaktadır. He vd. (2010) 101.3 kPa ve 298 K'de metanın havada difüzyon oranını

0.212  $\text{cm}^2/\text{s}$  olarak ölçmüştür. Difüzyon işlemi metan salınım oranı ve metanın nereden ortama salındığı (tavan, taban vb.) ile ilintilidir.

Barajlanmış bir alanda patlamanın şiddeti barajlanmış alanın fiziksel karakteristiklerinin yanı sıra patlamanın hızından etkilenmekte (aniden alev alma – infilak (detonasyon)) ve önemli basınç yığılmalarına neden olabilmektedir. Mine Safety and Health Organization (MSHA) (2008) basınç yığılmasını “*alev önündeki gazların hız nedeniyle sıkışması sonucunda normal atmosferik basınçtan yüksek bir basıncın meydana gelmesi*” olarak tanımlamaktadır. Yeraltı ocakları için bu basınç artışının büyüklüğü açıklığın geometrisine, pürüzlülüğüne ve ateşleme kaynağının yerine bağlıdır. Amerikan Kimyasal İşlem Güvenlik Merkezi (CCPS) (2006) yanmamış gazların 8-9 kata kadar önceden sıkıştırılabileceğini fakat tipik olarak bir ateşleme öncesinde ilk mutlak

basıncın 2 ila 4 katına çıkabildiğini iddia etmiştir.

Aniden alevlenme (*deflagration*) yanma nedeniyle oluşan dalgaların ses hızının altındaki hızlarda ilerlediği bir gaz patlamasındaki alev ilerlemesini ifade etmektedir. Bu tür bir olayda, patlama reaksiyonunun yanmayan malzemeye ilerlemesi ısı ve kütle transferi ile olmaktadır. Bu işlem yavaş bir işlem olduğundan alev ilerlemesi laminardır ve basınç etkisi genellikle küçüktür.

İnfilak (detonasyon) durumunda ise patlama sıkıştırıcı etkiye sahip şok ısınma şeklinde ilerlemektedir. Mekanik kuvvetlerin hızlı transferi nedeniyle infilak çok hızlı bir işlemdir ve ilerleme hızları ses hızından yüksektir (CCPS, 2010). Bu da infilakın aniden yanmaya oranla daha tahrip edici olmasına neden olur.

Zipf vd. (2007) yeraltı barajlarında olduğu gibi iki tarafı kapalı ve içine patlayıcı metan-hava karışımı dolmuş bir ocak açıklığında ateşleme olduktan sonra yanma işleminin 4 aşaması olduğunu iddia etmiştir. Bunlar (1) düşük bir hıza sahip laminar ilk alevin bulunduğu yavaş yanma, (2) türbülanslı alevin hızının yaklaşık 300 m/s'ye ulaştığı ve yanmış gazın arkasındaki basıncın CV basıncına (881,3 kPa) ulaştığı hızlı yanma, (3) yanma önünün yanmamış materyali sıkıştırdığı ve akustik dalganın ses hızında ilerlediği infilak ve (4) açıklığın kapalı ucundan çarpmaya bağlı olarak gelişen infilak dalgasının yansması.

### 3 FARKLI ÜLKELERDEKİ BARAJ TASARIM PARAMETRELERİ

Yoğun madencilik çalışmalarının yapıldığı ülkelerde uygun baraj tasarımı ve inşası için yoğun araştırmalar yapılmış olsa da sadece ABD, Avustralya ve Almanya'da bu konuya yönelik olarak özel ve açık hükümlerin bulunduğu mevzuat bulunmaktadır. Bu bölümde ayrıca ülkemizdeki mevzuata da yer verilecektir.

## 2.1 Amerika Birleşik Devletleri

Yeraltı kömür ocaklarında kurulacak barajlara yönelik ilk mevzuat 1969 yılında yürürlüğe girmiştir. Daha sonra bu mevzuat 1992 yılında revize edilmiş ve barajların en az 6x8x16 inç'lik beton bloklarla imal edilmesi ve 137.9 kPa basınca dayanıklı olmaları hükme bağlanmıştır. Ancak, barajların yenilmesi nedeniyle 2 Ocak 2006 tarihinde beş madencinin hayatını kaybettiği Sago Ocağı'nda (West Virginia) ve 20 Mayıs 2006 tarihinde 12 madencinin hayatını kaybettiği Darby Ocağı'nda (Kentucky) meydana gelen kazalardan sonra mevzuat değişikliğe gidilmiştir. 18 Nisan 2008 yılında MSHA tarafından yayımlanan ve halen yürürlükte olan mevzuat Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. MSHA tarafından 2008'de yayımlanan baraj tasarım gereksinimleri.

Durum	Baraj Tasarım Gereksinimi
Baraj arkası izleniyorsa ve inert haldeyse	En az 345 kPa basınca dayanıklı olmalı En az 345 kPa aşırı basınca en az 4s'de dayanacak şekilde olmalı
Baraj arkası izleniyor, inert halde ve çalışılmış bölge ayırıyor	En az 345 kPa aşırı basınca 0,1s dayanmalı ve 345 kPa muhafaza edilmeli
Baraj arkası izlenmiyorsa ve inert değilse	En az 827 kPa basınca dayanmalı En az 827 kPa aşırı basınca en az 4s'de dayanacak şekilde olmalı
Baraj arkası izlenmiyor, inert değil ve çalışılmış bölge ayırıyor	En az 827 kPa aşırı basınca 0,1s dayanmalı ve 827 kPa muhafaza edilmeli

## 2.2 Avustralya

Yeraltı ocaklarında inşa edilecek barajlar için tasarım parametreleri 2001 yılında Queensland hükümeti tarafından yayımlanan Kömür Madenciliği Güvenlik ve Sağlık

Yönetmeliği'nde tanımlanmıştır. Çizelge 2'de bu gereksinimler verilmiştir.

Çizelge 2. Avustralya'da uygulanan baraj tasarım gereksinimleri.

Durum	Baraj Tipi	Minimum Aşırı Basınç (kPa)
Yanıcı gaz hiçbir durumda alt patlama limitine ulaşmıyorsa	B	35
Patlayıcı bir atmosfer mevcutken ve kendiliğinden yanma ya da yanmaya neden olan diğer bir kaynak varken yeraltında personel varsa	C	140
Diğer durumlar (ocak giriş barajları hariç)	D	345
Ocak girişinin barajlanması	E	70

### 2.3 Almanya

Almanya'da baraj tasarımı ile ilgili detaylar North-Rhine Westfalia Eyaleti Madencilik ve Enerji Departmanı'nca Arnsberg Bölgesi Hükümeti Ocak Barajlarının İnşası Hakkında Kılavuz'unda belirlenmiştir (Abdammungs-Richtlinien, 2016). Bu kılavuz, yeraltı ocaklarının terkedilmiş bölgelerindeki barajların planlaması, inşası ve test edilmesini içermektedir.

Bu kılavuzda barajların yapımı için kullanılacak malzemenin hazırlanması ve uygulanmasını da tarif edilmektedir. Ayrıca, kılavuzda barajların kalınlığının hesaplanması için aşağıdaki eşitlik tanımlanmıştır.

$$I_D = \frac{0.7 a}{\sqrt{\sigma_{bz}}} \quad (3)$$

Burada;  $I_d$  minimum baraj kalınlığını (m),  $a$  en büyük açıklık boyutunu (genişlik ya da yükseklik) (m) ve  $\sigma_{bz}$  ise yapı malzemesinin eğilme dayanımını (MPa) göstermektedir. Eşitlik 3'te kullanılan 0.7 katsayısı kuyular için 0.8'dir.

### 2.4 Türkiye

Ülkemiz madencilik mevzuatında yeraltı kömür ocaklarında kurulacak barajlarla ilgili konular Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından 2013 yılında yayımlanan ve 2015'te revize edilen Maden İş yerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği ile düzenlenmiştir. Bu yönetmelik bekleme barajlarının yerlerini, sızdırmaz, basınca dayanıklı ve tahrip olmayacak şekilde yapılacağını ve ocak gazları yönünden izlenmesi gerektiğini bildirmektedir. Yanı sıra, kurulacak barajların gaz basıncı ve su baskınına karşı dayanımının hesaplanarak sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilmesi gerektiğini ifade etmekte ancak barajların dayanımı ve kurulmasında kullanılacak malzemenin özellikleri ile ilgili herhangi bir bilgi vermemektedir.

### 3 SAYISAL ÇÖZÜMLEMELER

Bu çalışmada; yeraltı kömür ocaklarında kullanılan bekleme barajlarının farklı statik patlama yükleri altındaki duraysızlık çözümlenmeleri, üç-boyutlu sonlu farklar programı FLAC3D (sürüm 2.1) (Itasca, 2003) kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Daha önceden de bahsedildiği üzere, bahsi geçen bu farklı statik patlama yükleri 345, 500, 872 ve 1000 kPa değerleridir. Bu bağlamda, toplam 4 adet farklı patlama basıncı göz önünde bulundurulmuştur.

Bu çalışmada sadece beton (donatısız) bekleme barajları göz önünde bulundurulmuş olup, bekleme barajlarının ve çevre kaya birimlerinin elasto-plastik olarak davrandığı varsayılarak, dayanımları Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile tanımlanmıştır. Mohr-Coulomb yenilme ölçütüne göre yenilme (kırılma) anındaki asal gerilmeler arasındaki ilişki,

$$\sigma_1 = \frac{2c_i \cdot \cos \varphi_i + \sigma_3 (1 + \sin \varphi_i)}{1 - \sin \varphi_i} \quad (4)$$

şeklinde verilmektedir (Jaeger ve Cook 1969). Burada,  $\sigma_1$  ve  $\sigma_3$  sırasıyla, en büyük ve en küçük asal etkin gerilmeler,  $c_i$  kaya malzemesinin kohezyonu ve  $\varphi_i$  ise kaya

malzemesinin içsel sürtünme açısıdır. Bu eşitlikte en küçük asal gerilme yerine 0 yazılırsa kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı veren aşağıdaki eşitlik elde edilebilir.

$$\sigma_{ci} = \frac{2c_i \cdot \cos\phi_i}{1 - \sin\phi_i} \quad (5)$$

Eşitlik 4 ve 5'ten yararlanılarak, kaya malzemesi için Mohr-Coulomb yenilme ölçütü,

$$\sigma_1 = \sigma_{ci} + \frac{1 + \sin\phi_i}{1 - \sin\phi_i} \sigma_3 \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. Bekleme barajlarının yapıldığı betonun yapısal özelliklerinin de göz önünde bulundurulabilmesi için, gerçekleştiren sayısal çözümlerinde Türk standartlarına (TS500, 2000) göre 4 farklı beton sınıfı seçilmiştir. Seçilen beton sınıfları ve bu sınıflara ait mekanik ve elastik özellikleri Çizelge 3'te sunulmaktadır.

Çizelge 3. Göz önünde bulundurulmuş beton sınıflarına ait elastik ve mekanik özellikler.

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı (MPa)	Karakteristik Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
C 14	14	1.3	26150
C 20	20	1.6	28000
C 30	30	1.9	32000
C 40	40	2.2	34000

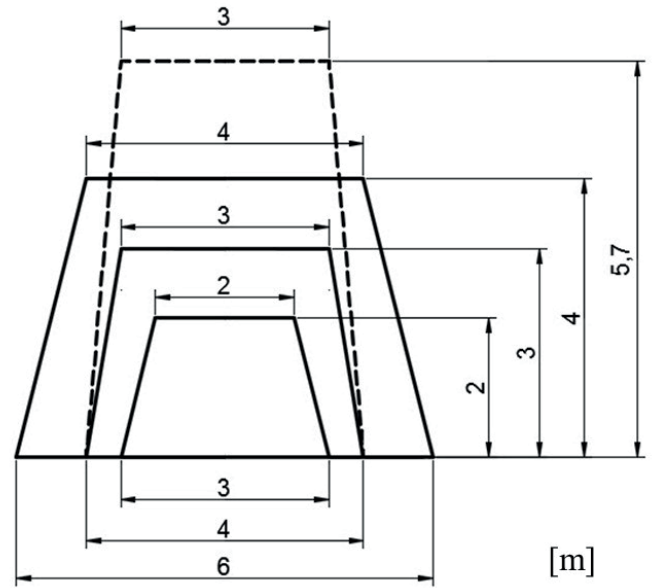
Poisson oranı 0.2

Boyut ve şekil etkisini inceleyebilmek için, çözümlerinde, 4 farklı boyuta sahip galeri kesiti seçilmiş olup bunların ikisi aynı kesit alanına, ikisi aynı taban uzunluğuna, ikisi ise aynı tavan uzunluğuna sahiptir. Aynı kesit alanına sahip farklı boyutlardaki galeri geometrilerinin seçilmesindeki amaç, aynı kesit alanına sahip galerilerdeki maksimum uzunluk gibi boyut özelliklerinin de duraylılık üzerindeki etkilerinin incelenmek istenmesidir. Çizelge 4'te seçilen galeri kesitlerine ait boyutsal değerler verilmektedir.

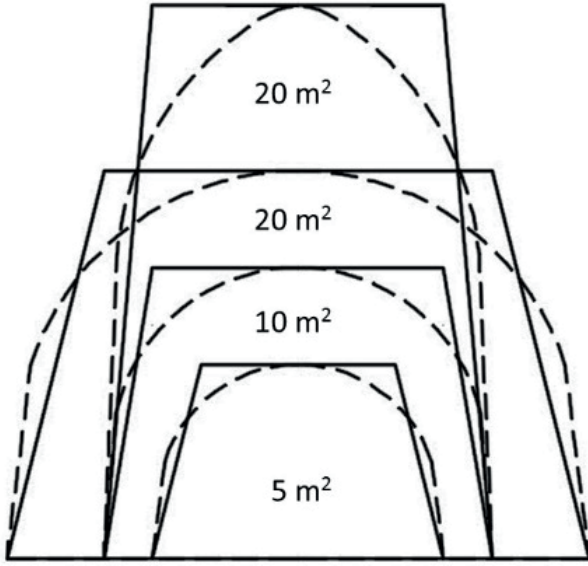
Çizelge 4. Seçilen kesit geometrilerine ait boyutlar.

Kesit No	1	2	3	4
Taban genişliği (m)	3	4	6	4
Tavan genişliği (m)	2	3	4	3
Yükseklik (m)	2	3	4	5.7
Alan (m <sup>2</sup> )	5	10	20	20

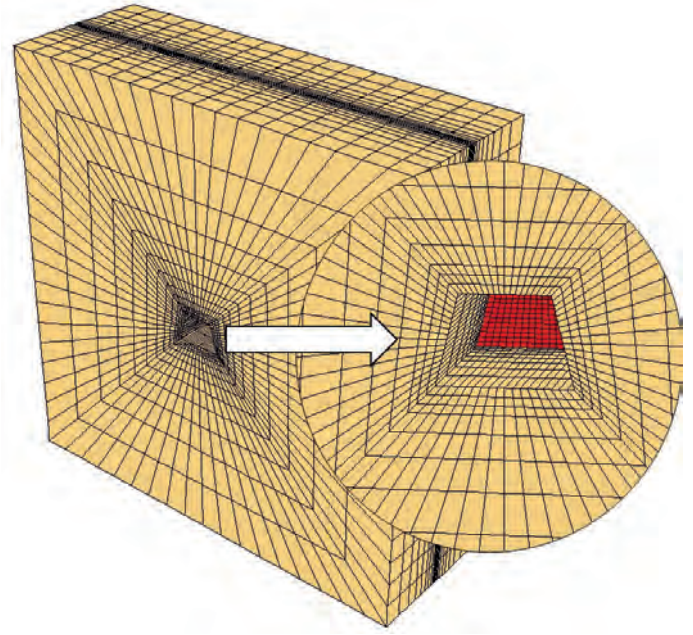
Kesit ve boyut özelliklerine ek olarak, çözümlerinde şekil etkisini de göz önünde bulundurmak için, ayrıca trapez ve at-nalı olmak üzere 2 farklı kesit geometrisi kullanılmıştır. At-nalı kesit geometrisi hazırlanırken, kesit alanının ve maksimum uzunluğun trapez kesit geometrisinde olanla aynı olmasına dikkat edilmiştir. Şekil 1'de trapez kesit için seçilen galeri boyutlarının iç içe geçmiş halde gösterimi sunulmaktadır. Şekil 2'de ise aynı yükseklik ve maksimum genişlik değerindeki eşdeğer alana sahip basitleştirilmiş at-nalı kesit geometrileri trapez kesit geometrisi ile birlikte gösterilmektedir.



Şekil 1. Trapez kesit için seçilen galeri boyutlarının iç içe geçmiş halde gösterimi.



üç boyutlu modelin genel hatları verilmektedir.



Şekil 3. Trapez kesit için sayısal model genel görünümü.

Şekil 4'te ise sayısal modelin galeri uzun ekseninden geçen bir kesit düzlemi üzerinden ortadan ikiye ayrılmasıyla oluşturulan bir görünümde, bekleme barajının önden görünümü ve galeri içerisindeki konumlandırılması verilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi, oluşturulan sayısal modellerde bekleme barajları galeri taban, tavan ve yan duvarları içerisine 60 cm geçecek şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmada barajların ne kadar içeri geçmesi gerektiği üzerinde durulmamış olup bu değer sabit bırakılmıştır.

Şekil 2. Aynı alana sahip at-nalı ve trapez kesit geometrileri.

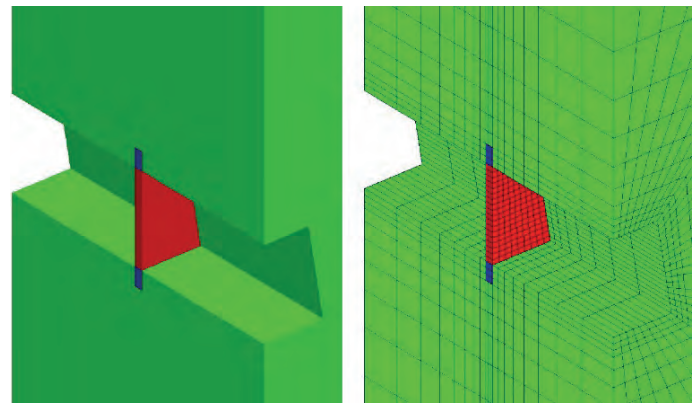
Hiç şüphesiz ki beton kalınlığı baraj duraylılığı üzerinde kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışma kapsamında, 30, 60, 90 ve 120 cm olmak üzere 4 farklı beton kalınlığı seçilmiş olup, beton kalınlığının duraylılık üzerindeki etkileri ayrıca incelenmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma kapsamında, 4 farklı statik patlama yükü, 4 farklı kesit boyutu, 4 farklı beton dayanımı, 4 farklı baraj kalınlığı ve 2 farklı kesit geometrisi için toplamda 512 adet sayısal çözümleme yapılmış olup, bekleme barajlarının tasarım parametreleri sayısal olarak incelenmiştir. Bu teorik çalışmayla elde edilen verilerin ışığında, değişik tipteki barajların farklı koşullar altında nasıl davrandığı belirlenmeye çalışılacaktır. Çizelge 5'te göz önünde bulundurulmuş parametreler özetlenmiştir.

Çizelge 5. Göz önünde bulundurulmuş parametreler.

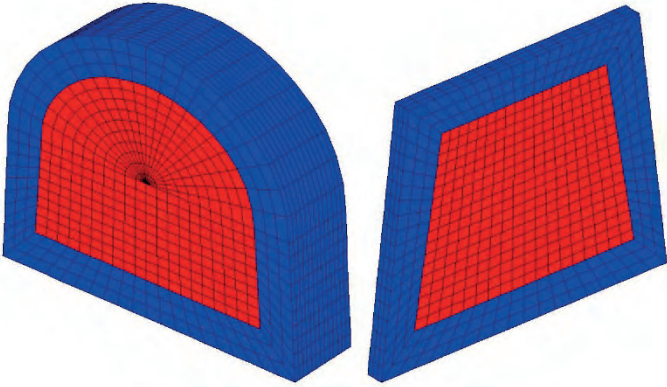
Parametre	Göz Önünde Bulundurulmuş Tip	
Basınç (kPa)	345, 500, 827 ve 1000	4
$L_{max}$ (m)	3, 4, 5.7 ve 6	4
Dayanım (MPa)	14, 20, 30 ve 40	4
Kalınlık (cm)	30, 60, 90 ve 120	4
Geometri	Trapez ve At-nalı	2
<b>Toplam Analiz Sayısı = 4·4·4·4·2 = 512</b>		

Şekil 3'te sayısal çözümler için FLAC3D programı kullanılarak hazırlanan



Şekil 4. Orta düzleminden geçen kesit üzerinde galeri ve barajın görünümü.

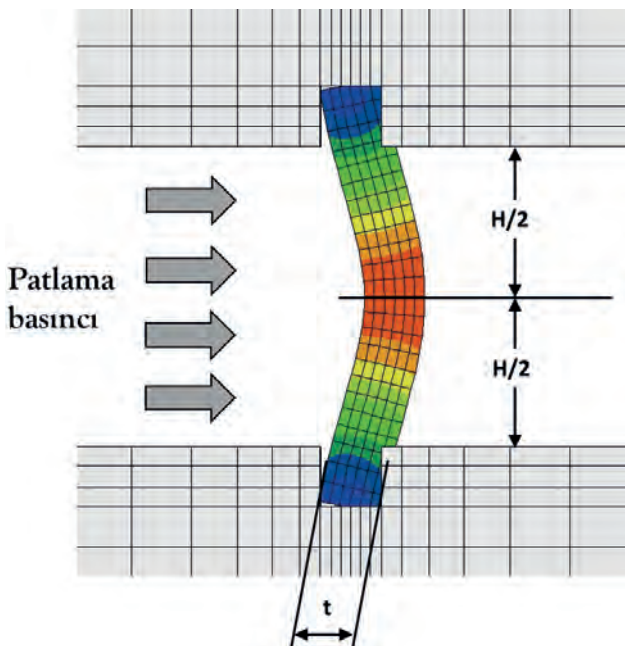
Farklı kalınlıkta hazırlanmış at-nalı ve trapez barajların galeri içerisine geçen kısımlarıyla birlikte gösterimi Şekil 5'te sayısal örgü ağı (mesh) görünümünde sunulmuştur.



Şekil 5. Farklı kalınlıkta hazırlanmış at-nalı ve trapez barajlar.

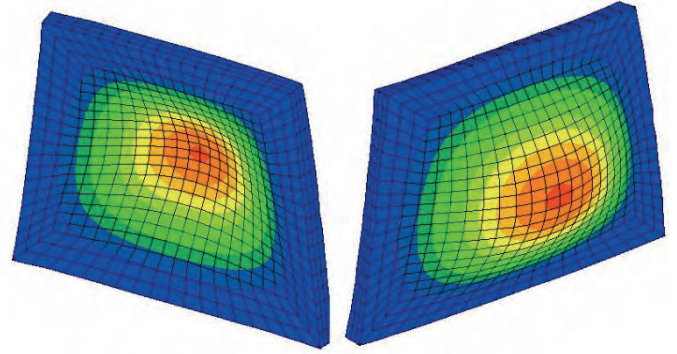
### 3.1 Sayısal Çözümlerinin Yorumlanması

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen toplam 512 adet sayısal çözümler sonucunda elde edilen veriler tek tek incelenmiş ve aralarında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. İlk göze çarpan detay, bekleme barajlarının galerilere sabitlendikleri yerlerin dayanak noktası olarak davranması ve barajların orta noktalarında ikiye bükülmeleri olgusudur. Bu durum Şekil 6'da gösterilmektedir.



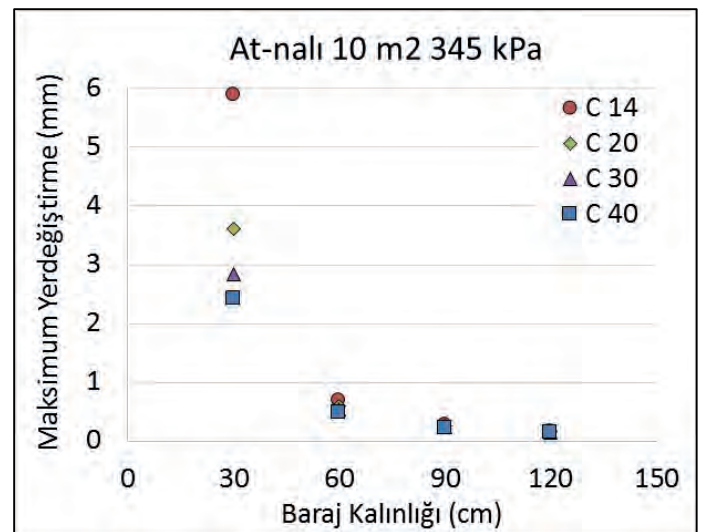
Şekil 6. Patlama basıncı ile barajın ikiye bükülmesi.

Bu durumda baraj geometrisinde en önemli boyut maksimum uzunluk ve kalınlık olmaktadır. Yapılan gözlemlerde, baraj alanının bu olgu üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Bu durumu gösterebilmek için, Şekil 7'de çözümler sonucunda barajda oluşan yerdeğiştirme konturları gösterilmektedir.

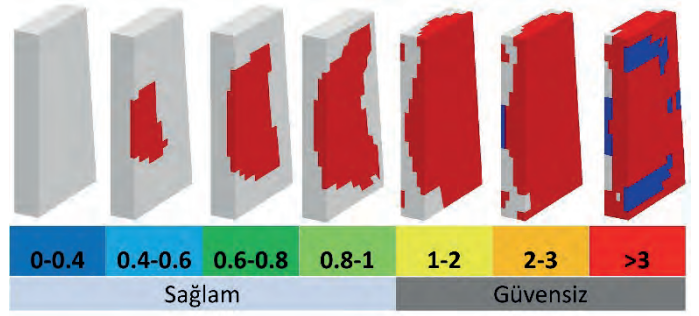


Şekil 7. Barajda oluşan yerdeğiştirme konturları.

Buradan yola çıkarak, her bir çözümler için baraj dış yüzeyi orta noktasında oluşan maksimum yerdeğiştirme değerleri ölçülmüş ve aralarındaki ilişki araştırılmıştır. Bu bağlamda, dayanım ve kalınlık parametrelerine göre 32 adet farklı grafik oluşturulmuş ve incelenmiştir. Şekil 8'de örnek olarak, 10 m<sup>2</sup> (kesit no 2) at-nalı kesit için 345 kPa basınca maruz kalan farklı dayanımlardaki barajlarda, baraj kalınlığı ve oluşan maksimum yerdeğiştirme arasındaki ilişki verilmektedir.



Şekil 8. Farklı dayanımlarda baraj kalınlığı ve maksimum yerdeğiştirme arasındaki ilişki.



Şekil 10. Yerdeğiştirme miktarı ve yenilme bölgesi arasındaki ilişki.

### 3.2 Sayısal Çözümleme Sonuçları

Bir önceki bölümde açıklanan ve ortaya konulan bulgular ışığında, bu bölümde yapılan tüm çözümler duraylılık açısından değerlendirilmiştir. Çizelge 6-9'da çözümler sonucunda elde edilen duraylılık değerlendirmeleri 345, 827, 500 ve 1000 kPa basınç değerleri için sırasıyla verilmiştir.

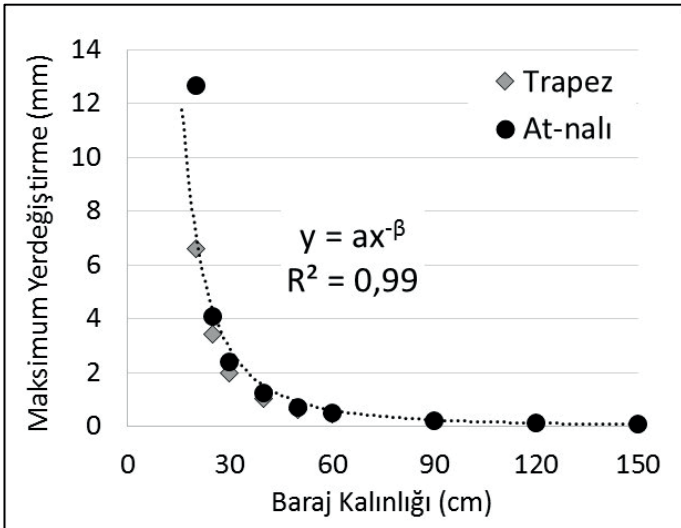
## 4 SONUÇLAR

Gerçekleştirilen tüm çözümler incelendiğinde elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir;

- Baraj kalınlığının yetersiz olduğu durumlarda baraj dayanımı oluşan yerdeğiştirme üzerinde oldukça etkiliyken, baraj kalınlığı arttıkça dayanımın yerdeğiştirme üzerindeki etkisi azalmakta hatta kalmamaktadır. Baraj duraylılığı, barajın yapıldığı malzemenin dayanımından çok baraj kalınlığının artmasıyla daha fazla artmaktadır.
- Barajlar patlama basıncı altında orta noktalarından ikiye bükülerek deformasyona uğramaktadırlar. Bu durumda baraj geometrisinde en önemli boyut en büyük uzunluk ve baraj kalınlığı olmaktadır. Yapılan gözlemlerde, baraj alanının duraylılık üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığı görülmüştür. Başka bir deyişle, baraj duraylılığı, barajın kesit alanından çok barajın en büyük uzunluğu ile ilişkilidir. Barajın en büyük uzunluğu arttıkça yapılması gereken baraj kalınlığı da hızla artmaktadır.
- Barajların galeri kenarlarından mesnetlersek en büyük uzunluklarının orta

Görüldüğü gibi, baraj kalınlığının yetersiz olduğu durumlarda baraj dayanımı oluşan yerdeğiştirme üzerinde oldukça etkiliyken, baraj kalınlığı arttıkça dayanımın yerdeğiştirme üzerindeki etkisi azalmakta hatta kalmamaktadır. Bu durum bütün çözümlerinde gözlemlenmiştir. Ayrıca bir başka göze çarpan detay ise, bu iki değer arasında üssel bir ilişki olduğudur. Şekil 9'da ise at-nalı ve trapez geometriler için baraj kalınlığı ve oluşan maksimum yerdeğiştirme arasındaki bu üssel ilişki gösterilmektedir.

Burada bahsedilmesi gereken diğer bir nokta ise, bu üssel ilişki ortaya konulurken 10, 20, 40, 50 ve 150 cm gibi farklı baraj kalınlığı değerlerinin kullanılmasıdır. Buradan yola çıkarak baraj kalınlığı ve oluşan maksimum yerdeğiştirme değeri arasında mutlak bir ilişki olduğu söylenebilir.



Şekil 9. Farklı kesitler için baraj kalınlığı ve maksimum yerdeğiştirme arasındaki ilişki.

Son olarak, çözümler sonrasında baraj içerisinde oluşan yenilme bölgeleri gözlemlenmiş ve yenilme bölgeleri ve yerdeğiştirme miktarları arasında bir ilişki ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu yöntem, gerçekleştirilen 512 adet çözümlemenin değerlendirilmesi için pratik bir yol olarak gözükmektedir. Araştırmacılar tarafından yapılan tüm çözümler incelenmiş ve gözleme dayalı olarak Şekil 10'da gösterilen ilişki elde edilmiştir.



noktasından eğilmeye zorlanmalarından dolayı, barajların dış taraflarında çekme iç taraflarında ise kesme yenilmeleri oluşmaktadır. Özellikle ince duvarlarda aşırı çekme yenilmeleri meydana gelmektedir.

- Aynı boyutlar için, geometrik nedenlerden dolayı trapez galeri kesiti at-nalı galeri kesitinden daha duraylıdır.
- Aynı statik yükler altında, baraj kalınlığı ile baraj duvarı orta noktasında oluşan maksimum yerdeğiştirme arasında üssel bir ilişki mevcuttur. Buna ek olarak, barajda oluşacak yenilme bölgesi baraj duvarı orta noktasında oluşan maksimum yerdeğiştirme ile doğrudan ilişkilidir. Buradan yola çıkarak, sayısal çözümler için baraj duvarı orta noktasında oluşan maksimum yerdeğiştirme ile baraj duraylılığı tahmin edilebilir.
- Burada bahsedilmesi gereken önemli bir husus, analizler sonucunda tespit edilen yerdeğiştirmelerin, gerçek yerdeğiştirme değerleri ile karıştırılmaması gerektiğidir. Bu değerler program çıktısı olarak değerlendirilmelidir. Bu değerlerin geçekte olması gerekenden oldukça küçük çıkması, program sınırlamalarında kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, elde edilen bu değerlerin oluşan yenilme bölgesi ile doğrudan bir ilişkisi mevcut gözükmemektedir. Bu ilişkiden yararlanılarak herhangi bir barajın ilgili mevzuatta geçen basınç dayanımına dayanıp dayanamayacağı sayısal olarak belirlenebilir. Bu bağlamda, her bir baraj, kendi mekanik, elastik ve geometrik özellikleri kullanılarak analiz edilmeli ve değerlendirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Abdammungs-Richtlinien, 2016. Richtlinien der Bezirksregierung Arnsberg über das explosionsfeste Abdämmen von aufgegebenen Grubenbauen (Abdämmungs-Richtlinien; Guidelines of the Arnsberg District Government for the Construction of Mine Seals), www.esb.bezreg-arnsberg.nrw.de (last accessed October 11, 2016).
- CCPS, 2006. Safe Design and Operation of Process Vents and Emission Control Systems, Center for

- Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers (CCCS). John Wiley&Sons, New Jersey, USA.
- CCPS, 2010. Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Explosions and Fires. American Institute of Chemical Engineers, Center for Chemical Process Safety, New York, USA.
- Cybulski, W.B., H, G.J., Krzystolik, P.A., 1967, Research on firedamp explosions in sealed-off roadways (abstract in English and German; complete paper in German only), 12th International Conference of Mine-Safety Research Establishments, September 11-15, Dortmund, Germany.
- He, M., Guo, Y., Qiu, Z., Ting, Z., 2010. Determination of binary gas diffusion coefficients using digital holographic interferometry. *Journal of Chemical Engineering Data* 5, 3318-3321.
- Itasca, 2003. FLAC 3D-Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions (Version 2.1). Itasca Consulting Group Inc., Minneapolis, Minnesota.
- Jaeger, JC, Cook, NGW, 1969. Fundamentals of Rock Mechanics, Chapman and Hall, London, p.593.
- Goertz, B., Brune, J.F., 2013. Identifying improved control practices and regulations to prevent methane and coal dust explosions in the United States. Department of Human Health and Human Services, Center for Disease Control and Prevention, 111 pages
- Michelis, J, Kleine, W, 1989. Development of components designed to resist explosion pressures approximately 1 MPa for use in ventilation structures in underground mines, In: Proceedings of the 23rd International Conference on Safety in Mines Research Institutes, Washington, DC.
- MSHA, 2008. Sealing of Abandoned Areas; Final Rule, U.S. Department of Labor, Mine Safety and Health Administration, <http://arlweb.msha.gov/REGS/FEDREG/FINAL/2008finl/08-1152.asp> (last accessed October 13, 2016).
- Ng, DL, Lazzara, CP, Mura KE, Luster C 1988. Fire endurance of mine stoppings. U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines RI9207, p.5.
- Reible, D.D., 1999. Fundamentals of Environmental Engineering. CRC Press, USA.
- TS500, 2000. Türk Standartları, ICS 91.080.40, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Zipf, K.R., Sapko, M., J, B.F., 2007. Explosion Pressure Design Criteria for New Seals in U.S. Coal Mines. National Institute for Occupational Health and Safety (NIOSH), IC9500, 76 pages.

Çizelge 6. İncelenen durumlar için 345 kPa patlama basıncında baraj duraylılığının değerlendirilmesi.

		345 kPa									
Tip	Karakteristik Dayanım				Kesit No	Baraj Kalınlığı	Karakteristik Dayanım				Tip
	C 14	C 20	C 30	C 40			C 14	C 20	C 30	C 40	
TRAPEZ	0.70	0.63	0.57	0.53	1	30	0.86	0.74	0.64	0.58	ATNALI
	0.20	0.19	0.18	0.17		60	0.21	0.20	0.18	0.18	
	0.11	0.10	0.10	0.09		90	0.11	0.11	0.10	0.10	
	0.07	0.07	0.07	0.06		120	0.08	0.07	0.07	0.07	
	3.54	2.82	2.30	2.01	2	30	5.89	3.62	2.83	2.42	
	0.60	0.54	0.48	0.46		60	0.69	0.60	0.53	0.49	
	0.27	0.26	0.24	0.23		90	0.28	0.26	0.24	0.23	
	0.17	0.16	0.15	0.15		120	0.17	0.16	0.15	0.15	
	24.5	11.3	7.97	6.89	3	30	NA	NA	36.4	14.4	
	1.94	1.69	1.47	1.34		60	2.70	2.24	1.87	1.66	
	0.71	0.65	0.58	0.55		90	0.83	0.72	0.63	0.59	
	0.37	0.35	0.32	0.31		120	0.40	0.37	0.34	0.33	
	46.2	12.69	8.08	6.52	4	30	NA	NA	16.7	10.0	
	1.88	1.58	1.34	1.21		60	2.48	2.02	1.67	1.49	
	0.65	0.58	0.52	0.50		90	0.76	0.66	0.58	0.54	
	0.34	0.32	0.29	0.28		120	0.37	0.35	0.31	0.30	

Güvenli				Güvensiz		
0-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1	1-2	2-3	>3

Çizelge 7. İncelenen durumlar için 827 kPa patlama basıncında baraj duraylılığının değerlendirilmesi.

		827 kPa									
Tip	Karakteristik Dayanım				Kesit No	Baraj Kalınlığı	Karakteristik Dayanım				Tip
	C 14	C 20	C 30	C 40			C 14	C 20	C 30	C 40	
TRAPEZ	3.41	2.59	2.13	1.85	1	30	28.9	3.70	2.77	2.37	ATNALI
	0.62	0.54	0.48	0.44		60	0.74	0.62	0.53	0.48	
	0.27	0.25	0.23	0.22		90	0.29	0.27	0.24	0.23	
	0.18	0.17	0.17	0.16		120	0.19	0.18	0.17	0.16	
	NA	27.2	11.9	9.31	2	30	NA	NA	NA	NA	
	2.34	2.00	1.70	1.51		60	3.38	2.70	2.19	1.89	
	0.82	0.72	0.63	0.58		90	1.05	0.83	0.68	0.61	
	0.44	0.40	0.37	0.35		120	0.47	0.42	0.37	0.35	
	NA	NA	28.4	57.9	3	30	NA	NA	NA	NA	
	8.39	6.64	5.54	4.95		60	NA	21.5	9.84	8.02	
	2.61	2.25	1.91	1.72		90	5.10	3.62	2.73	2.26	
	1.12	0.99	0.86	0.80		120	1.72	1.30	1.03	0.91	
	NA	NA	NA	NA	4	30	NA	NA	NA	NA	
	10.7	7.51	5.94	5.13		60	NA	13.8	8.9	7.3	
	3.01	2.40	1.90	1.68		90	4.63	3.40	2.53	2.08	
	1.15	0.97	0.82	0.75		120	1.51	1.15	0.92	0.82	

Güvenli				Güvensiz		
0-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1	1-2	2-3	>3

Çizelge 8. İncelenen durumlar için 500 kPa patlama basıncında baraj duraylılığının değerlendirilmesi.

Tip	500 kPa				Kesit No	Baraj Kalınlığı	Karakteristik Dayanım				Tip
	C 14	C 20	C 30	C 40			C 14	C 20	C 30	C 40	
TRAPEZ	1.27	1.04	0.90	0.84	1	30	1.66	1.35	1.12	1.01	ATNALI
	0.31	0.29	0.26	0.25		60	0.34	0.31	0.27	0.26	
	0.16	0.15	0.14	0.13		90	0.16	0.16	0.14	0.14	
	0.11	0.10	0.10	0.09		120	0.11	0.11	0.10	0.10	
	9.22	5.67	4.39	3.81	2	30	NA	18.8	6.38	4.93	
	1.02	0.88	0.77	0.71		60	1.29	1.08	0.91	0.80	
	0.41	0.38	0.34	0.33		90	0.44	0.40	0.35	0.33	
	0.25	0.24	0.22	0.21		120	0.25	0.24	0.22	0.21	
	NA	48.8	17.7	13.6	3	30	NA	NA	NA	NA	
	3.47	2.97	2.52	2.27		60	5.65	4.36	3.54	3.08	
	1.20	1.06	0.92	0.84		90	1.59	1.29	1.07	0.94	
	0.56	0.52	0.47	0.45		120	0.66	0.58	0.51	0.48	
	NA	NA	22.9	15.9	4	30	NA	NA	NA	NA	
	3.63	2.96	2.41	2.13		60	5.20	4.03	3.21	2.76	
	1.18	0.98	0.84	0.77		90	1.49	1.17	0.96	0.86	
	0.54	0.49	0.44	0.41		120	0.60	0.53	0.47	0.44	

Güvenli				Güvensiz		
0-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1	1-2	2-3	>3

Çizelge 9. İncelenen durumlar için 1000 kPa patlama basıncında baraj duraylılığının değerlendirilmesi.

Tip	1000 kPa				Kesit No	Baraj Kalınlığı	Karakteristik Dayanım				Tip
	C 14	C 20	C 30	C 40			C 14	C 20	C 30	C 40	
TRAPEZ	5.47	3.74	2.96	2.60	1	30	NA	11.7	4.12	3.39	ATNALI
	0.80	0.72	0.62	0.57		60	1.02	0.86	0.72	0.63	
	0.35	0.32	0.29	0.27		90	0.38	0.34	0.30	0.28	
	0.22	0.21	0.19	0.19		120	0.23	0.22	0.20	0.20	
	NA	99.2	21.0	13.7	2	30	NA	NA	NA	NA	
	3.23	2.73	2.32	2.07		60	5.05	3.91	3.14	2.70	
	1.07	0.94	0.82	0.75		90	1.53	1.19	0.95	0.82	
	0.56	0.51	0.46	0.43		120	0.62	0.54	0.47	0.44	
	NA	NA	NA	163	3	30	NA	NA	NA	NA	
	12.9	9.26	7.50	6.68		60	NA	NA	22.5	12.5	
	3.50	3.03	2.58	2.31		90	8.24	5.80	4.24	3.42	
	1.53	1.31	1.12	1.02		120	2.96	1.94	1.47	1.25	
	NA	NA	NA	NA	4	30	NA	NA	NA	NA	
	22.4	11.33	8.44	7.28		60	NA	NA	14.9	11.1	
	4.30	3.46	2.77	2.37		90	7.36	5.29	3.96	3.16	
	1.65	1.32	1.10	0.98		120	2.45	1.70	1.30	1.11	

Güvenli				Güvensiz		
0-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1	1-2	2-3	>3

# Türkiye’de Havalandırma Konusundaki Mevzuat Hükümlerinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi

## *Evaluation of Legislation Provisions on Ventilation in Turkey in Terms of Occupational Health and Safety*

T. D. Yıldız

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

**ÖZET** Türkiye’de yaklaşık son 35 yıldır meydana gelen ölümlü maden kazalarının büyük çoğunluğunun, yeraltı maden ocaklarında havalandırma konusunda yeterli derecede önlem alınmaması nedeniyle meydana geldiği tespit edilmiştir.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği Ekinde belirtildiği üzere, madencilik “çok tehlikeli sınıf” kategorisinde yer almaktadır. Madencilikte iş kazalarını önlemek, bu kazaların risklerinden korunmak ve riskleri azaltmak için uygulanabilecek teknik gelişmelere uyum sağlayabilen bir mevzuat gerekmektedir. Bu çerçevede Türkiye’de havalandırma konusundaki mevzuat kapsamında başta 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu’nda olmak üzere birçok yönetmelikte ve yönergede hükümler mevcuttur. Bu hükümler yeraltında ortamın patlama riskine, yangın tehlikesine ve zararlı ortam havasına karşı korunması gibi konuları ve bu risklere karşı alınacak önlemleri içermektedir.

Çalışmada söz konusu havalandırma konusundaki Türk mevzuat hükümleri genel olarak; yer yer uluslararası mevzuat hükümleriyle karşılaştırılmış, madencilik sektöründe hem iş sağlığı ve güvenliği açısından hem de madencilik sektöründe başta işveren ve nezaretçi olmak üzere maden üretim sistemini bütünleyen tüm taraflar açısından değerlendirilmiş ve bunlar hakkında öneriler sunulmuştur.

**ABSTRACT** It has been determined that the vast majority of mortal mine accidents that have taken place in Turkey for the last 35 years have occurred because of not taking adequate measures in ventilation in underground mines.

Mining, as stated in Law No. 6331 Occupational Health and Safety Law Workplace Occupational Hazard Classes Rescript, is in the "very dangerous class" category. A legislation is needed that can adapt to the technical developments that can be applied to prevent work accidents in mines, to protect them from the risks of these accidents and to reduce the risks. Within this framework, there are provisions in many regulations and directives within the scope of the legislation on ventilation in Turkey, initially in the Law No:6331 Occupational Health and Safety Law. These provisions include the risk of explosion of the underground environment, protection against fire hazard and harmful ambient air, and measures to be taken against these risks.

In the study, the provisions of the Turkish legislation on the subject of ventilation generally, In some cases, has been compared to the provisions of international legislation, has been evaluated both as in terms of occupational health and safety in the mining sector and as in the mining sector in terms of all the parties that have integrated the mining production system, particularly employer and supervisor and proposals have been made about these.

## 1 GİRİŞ

Yeraltı maden ocaklarında *havalandırmadan*, atmosferik ve çevresel şartlardan kaynaklanabilecek tehlikeler mevcuttur.

Madencilik sektöründe, ortam havası içinde bulunabilen boğucu, zehirli ve patlayıcı gazlar çalışanların sağlığını tehdit etmekte, özellikle yeraltı kömür madenciliğinde büyük can ve mal kayıpları ile sonuçlanan grizu patlamalarına neden olmaktadır. Son yıllarda, madencilik sektöründe üretim faaliyetlerinin daha derin seviyelere inmesi ile birlikte ortaya çıkan sıcaklık ve nem miktarlarındaki artış, çalışmaları olumsuz yönde etkilemektedir. Gizli ocak yangınları sonucu havaya karışan gazlar bazı durumlarda tüm ocağı etkilemekte, çok sayıda madencinin ölümüne neden olmaktadır. Havanın hızı, sıcaklığı ve içerdiği nem miktarı işgücü verimliliği üzerinde önemli rol oynayan faktörlerdir (Ökten ve Fişne, 2015).

Tüm bu tehlike faktörlerinin iş sağlığı ve güvenliğini etkilemesi birer risktir. “*Risk*”; tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimalini ifade eder (İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği (İSGRDY) madde (m.) 4/e). “*Tehlike*” ise; işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyelini gösterir (İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (İSGK) m.2/p).

Ülkemiz mevzuatına göre; maden içerisinde *tehlikeler* tanımlanırken çalışma ortamı, çalışanlar ve işyerine ilişkin, ilgisine göre, asgari olarak birtakım bilgiler toplanmalıdır (İSGRDY m.8/1). Bu toplanan bilgilerle tehlikenin derecesi belirlenirken çalışılan yerin *risk değerlendirmesi* de yapılmak zorundadır.

*Risk değerlendirmesi* çerçevesinde gereken önlemler alınmazsa; *iş kazaları* (İSGRDY, m. 2/g) meydana gelebilir.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB) İş Müfettişlerince 2010 yılı içerisinde yeraltı kömür madenlerinde gerçekleşmiş iş kazalarının incelenmesi

neticesinde, bu kazaların temelinde yatan eksikliklerin önemli bir kısmının çalışma koşullarında yapılması gereken iyileştirmelerle ilgili olduğu, bir diğer ifadeyle işçilerin bir tehlikeye maruz kalmasına neden olacak mekanik ve fiziksel koşullardan, yani tehlikeli durum”lardan kaynaklandığı ifade edilmiştir (Erbayat, Akyel ve Yüksel, 2011).

2015 yılında yeraltı maden ocaklarında yapılan teftişlerde en çok tespit edilen sorunlu hususlardan bazıları şöyledir:

-Havalandırmanın sürekliliği, vantüplerle ilgili uyumsuzluklar;

-Sensör sayıları, türleri, yerleri vb.

Söz konusu raporlarda en çok faaliyet durdurma sebepleri ise;

-Merkezi izleme sensörleri veya diğer gaz ölçümleri konusundaki eksiklikler,

-Mekanik havalandırmanın yapılmaması veya yedeğinin olmaması, veyahut da yedek enerji kaynağının olmaması olarak belirtilmiştir (Erbayat, 2016).

Ayrıca bu raporlarda; mekanizasyonun yerleştirilemeyerek mühendislik çalışmalarına yeterince önem verilmediği, risk değerlendirmesinin nitelikli olarak yapılmadığı ve iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinin kömür madenciliğine henüz girmediği sorunları tespit edilmiştir (Erbayat, 2016).

Dolayısıyla iş kazalarının oluşmadan “önlenmesi” için işyerinde yürütülen faaliyetlerin bütün safhalarında iş sağlığı ve güvenliği (İSG) ile ilgili riskleri ortadan kaldırmak veya azaltmak için gerekli tedbirlerin alınması ve planlanması (İSGRDY, m.2/n) gerekmektedir.

Bu çerçevede kömür madenlerinde ani metan gazı degajmanı, grizu patlaması, kendiliğinden yanma, kömür tozu patlama risklerine karşı başlangıçta “Yangın ve Patlamaları Önleme Planı” oluşturulmalı ve bunlarla ilgili risk değerlendirmesi yapılmalıdır.

Bu risklerin ortaya çıkarabileceği *tehlikeler* de ancak, yeraltı açıklıklarına kontrollü olarak yeterli miktarda ve özellikle *havanın* verilmesi ile önlenbilir. *Havalandırma* ile ilgili çalışmalar bir yeraltı ocağının faaliyete geçmesinden kapanışına kadar devam eder. Üretimin yeni bölümlere kayması, yeni açıklıkların şebekeye eklenmesi ve işlevi biten açıklıkların çıkarılması, doğal havalandırmanın etkisi,

ortam havasında bulunan gaz ve toz miktarlarındaki değişimler vb. sürekli olarak izlenmeli ve gerekli düzenlemeler yapılmalıdır (Ökten ve Fişne, 2015).

Bu çalışmalarla uyumlu olarak “Ocak havalandırma planı” yapılmalıdır. Bu plan, güvenli bir çalışma sistemi kurmak ve işçilerin korunmasını sağlamak için, maden havalandırması yetersiz kaldığında ya da kesildiğinde yapılması gereken işlemleri kapsayan bir plandır. “Ocak havalandırması” ise yeraltında güvenli ve sağlıklı çalışma koşullarını oluşturmak için yeterli miktar ve özelliklerdeki *havayı* ocağa göndermek olarak tanımlanır.

Nitekim *ocak havalandırması*; tehlikeli gazların birikmesini önleme, optimum bir ocak iklimi (sıcaklık ve nem) sağlama, açık alevli lambalar ve patırlı motorlar için oksijen ihtiyacını karşılama ve tozlu havayı seyreltme amaçlarıyla yapılır (Baycık, 2006). Bu nedenle söz konusu kazaların önlenmesinde *havalandırmaya* ilişkin hükümler önem taşır.

İSGK'nın 2. maddesinin r bendine göre “Tehlike sınıfı”; iş sağlığı ve güvenliği açısından, yapılan işin özelliği, işin her safhasında kullanılan veya ortaya çıkan maddeler, iş ekipmanı, üretim yöntem ve şekilleri, çalışma ortam ve şartları ile ilgili diğer hususlar dikkate alınarak *işyeri için belirlenen tehlike grubunu* ifade eder. Madenler/madencilik de söz konusu Kanunun İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği Ekinde de belirtildiği üzere “çok tehlikeli sınıf” kategorisinde yer almaktadır.

Madencilik sektörünün ayrıca birçok kaynaktan en tehlikeli iş kolu olarak belirtilmesinin en büyük sebepleri; madencilik kendisine has zorluklarının olması, bilinmezliklerin ön çalışmalara rağmen diğer sektörler göre daha fazla olması, üretimin sürekli devam etmesi nedeniyle ocak çalışma şartlarının sürekli değişmesi, birbirini tetikleyebilecek riskleri içerdiği ve bu riskleri en aza indirebilmek için bilgi, deneyim, uzmanlık ile sürekli denetimin gerekli olduğu dünyanın en zor ve riskli faaliyeti olmasındandır. Nitekim dünya genelinde *maden kazaları* sayısı tüm iş kollarındaki kazaların yaklaşık %10'unu

oluşturmaktadır (Yaşar S., İnal, Yaşar, Ö.ve Kaya, 2015); (MMO, 2010). Ülkemizde de benzer bir tablo gözlenmektedir (Çiz. 1).

Çizelge 1. Madencilik ve madencilik dışı iş kazası, ölüm oranları (SGK, 2016)

Faaliyet	Ortalama İş Kazası (%)	Ortalama Ölüm (%)
Kömür Madenciliği	7,67	7,74
Metal cevheri Madenciliği	0,53	0,87
Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı	0,8	2,18
Madencilik Destekleyici Hizmet	0,13	0,12
Madencilik Hariç diğer	90,88	89,08
Toplam	100	100

Dünyada her yıl 270 milyon adet iş kazası oluşmaktadır. Ayrıca dünyada yaklaşık her 10 saniyede 1 işçi iş kazası ya da meslek hastalığı sonucu yaşamını yitirmektedir. Türkiye'ye baktığımızda her yıl ortalama 1700 insan iş kazası sonucu ölmektedir. Dünya ortalamasının oldukça üstünde olan bu rakamlar, esasen üretilen ton *maden* başına ölümler olarak da ayrı bir kategoride değerlendirilebilir.

Zira örneğin nüfusu ülkemizin nüfusunun yaklaşık 18 katı olan Çin'de 2005-2010 yılları arasında kömür madenciliğinde yılda 2-6 bin arasında işçi iş kazaları sonucu yaşamını yitirmiştir. Buna karşın bu ülkede son 3 sene içerisinde maden üretimi yaklaşık 4'e katlanmasına rağmen bu rakamın, 2014 yılından itibaren bin işçi/yıl'ın altına düşerek (Tien, 2016), ülkemizdeki ton kömür üretimi başına iş kazaları sonucu ölen işçi sayısından düşük olduğu görülmüştür.

Ülkemizde gerçekten de, iş hayatındaki payı ile ters orantılı olarak, meslek hastalıkları ve iş kazaları en fazla madencilik sektöründe görülmektedir. Madencilik sektöründe çalışanlar toplam sigortalıların %1,14'ünü oluşturmaktadır (SGK, 2016). Ancak madencilik tüm iş kazaları içindeki

oranı ise %9,12 civarındadır. Madencilik faaliyetleri yakın dönemde istatistiksel olarak kendi içinde ayrıca incelendiğinde ise sektördeki kazaların %84,1'inin *kömür madenciliğinde* gerçekleştiği saptanmıştır. İlâveten sektördeki *ölümlü kazalarda* ise ölümlerin %71'inin *kömür madenciliğinde* meydana geldiği görülmüştür (Çiz.1).

Belirtilmelidir ki dünyada *yeraltı kömür madenciliğinde*, işyeri koşullarının tüm yönleriyle sürekli olarak takip edildiği az sayıda ve yüksek nitelikli, çalışanlar tarafından kullanılan en son teknoloji ürünü uzak kontrollü ekipmanların kullanıldığı modern *maden ocakları* vardır. Buna karşın, kazı işleminin elle yapıldığı ve çıkarılan kömürün yine ellerde taşındığı ve doğal olarak güvenliksiz ve sağlıksız *maden ocakları* da bulunmaktadır (Pınar ve Sarı, 2011).

Ülkemizde ise bazı maden ocakları iş sağlığı ve güvenliği yönünden yeterli değildir.

Bu nedenle, özellikle yeraltı ocaklarında *havalandırmanın* ve planının iş sağlığı ve güvenliği açısından olması gereken dereceye getirilmesi, bunun da mevzuatla ve uygulamada sağlanması son derece önem arz etmektedir.

Genel kabul olarak iş kazalarının nedenleri dört ana başlık altında sınıflandırılmaktadır:

- Yasalardan ve uygulayıcılarından kaynaklanan nedenler,
- İşveren/vekilinden kaynaklanan nedenler,
- Çalışma ortamından kaynaklanan nedenler,
- Çalışanlardan kaynaklanan nedenler (Kaynak, S. ve Kaynak, D., 2009).

Bu konular dikkate alınarak *havalandırma* açısından iş sağlığı ve güvenliği ve mevzuatı hakkında değerlendirmeler yapılabilir.

## 2 HAVALANDIRMA KONUSUNDA TÜRK MEVZUAT HÜKÜMLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Maden işyerlerinde en sık rastlanan ve büyük kayıplara neden olan *gaz ve toz patlamaları ile ocak yangınları*, genellikle birbiri ardına gerçekleşen diğer bir ifadeyle biri diğerinin nedeni olan kaza türleridir. Zira

yönetmeliklerde de bu kazalara ilişkin önlemler birlikte düzenlenmiştir (Baycık, 2006). Ancak alınan bu önlemlerin yıllardır yeterli olmadığı, yaklaşık son 35 yıldır meydana gelen *ölümlü maden kazaları* verilerinden görülmektedir (Çiz. 2).

Çizelge 2. Yaklaşık son 35 yılda meydana gelen ölümlü maden kazaları ve özellikleri

Yer	Tarih	Maden in Cinsi	Olayın Şekli	Ölü Sayısı
Zonguldak Armutçuk	07.03.1983	Kömür	Grizu patlaması	103
Zonguldak Kozlu	10.04.1983	Kömür	Grizu patlaması	10
Amasya Yeni Çeltek	14.07.1983	Kömür	Grizu patlaması	5
Zonguldak Kozlu	31.01.1987	Kömür	Göçük	8
Zonguldak Amasra	31.01.1990	Kömür	Grizu patlaması	5
Amasya Yeni Çeltek	07.02.1990	Kömür	Grizu patlaması	68
Zonguldak Kozlu	03.03.1992	Kömür	Grizu patlaması	263
Yozgat Sorgun	26.03.1995	Kömür	Grizu patlaması	37
Erzurum Aşkale	08.08.2003	Kömür	Grizu patlaması	8
Karaman Ermenek	22.11.2003	Kömür	Grizu patlaması	10
Çorum Bayat	09.08.2004	Kömür	Grizu işçisi	3
Kastamonu Küre	08.09.2004	Bakır	Yangın	19
Kütahya Gediz	21.04.2005	Kömür	Grizu Patlaması	18
Balıkesir Dursunbey	02.06.2006	Kömür	Grizu Patlaması	17

Bursa M.Kemalp aşa	10.12. 2009	Kömür	Grizu Patlaması	19
Balıkesir Dursunbey	02.06. 2006	Kömür	Grizu Patlaması	13
Zonguldak Karadon	17.05. 2010	Kömür	Grizu Patlaması	30
K.Maraş Elbistan	10.02. 2011	Kömür	Şev Kayması	11
Zonguldak Kozlu	08.01. 2013	Kömür	Metan Degajı	8
Manisa Soma	13.05. 2014	Kömür	Ocak Yangını	301
Ermenek Konya	28.10. 2014	Kömür	Su Baskını	26
Siirt	17.11. 2016	Kömür	Heyelan	16

Bu maden kazaları incelendiğinde, olayların; teknik, sosyal, ekonomik, eğitim, planlama ve denetim sorunları gibi pek çok nedeni olduğu görülmektedir (Torun ve Tekin, 2011).

Bu ölümlü maden kazalarının özellikleri ve düzenlenen ilgili raporlar incelendiğinde, büyük çoğunluğunun yeraltı kömür ocaklarında *havalandırmadan* kaynaklı önlemlerin yeterli derecede alınmaması sonucu meydana geldiği tespit edilmiştir.

Zira söz konusu *kazaların* ortak noktaları irdelendiğinde, madencilik sektöründe *özel ve genel iş güvenliği mevzuatına* aykırılıklar, devletin denetim mekanizmasındaki yetersizlikler öne çıkmaktadır. Örneğin istatistiklere göre;

“...*havalandırma planları yoktur veya yetersizdir, ocak içerisinde özellikle kör bacalarda yeterli ve etkin havalandırma yapılmamaktadır; sağlıklı hava ve gaz ölçümleri yapılmamakta, kayıt altına alınmamaktadır; ocakta mevcut ve uzaktan izleme yapılan sensörler sayısal olarak yetersiz, buldukları yerler itibariyle de seyrelmiş gaz ölçümleri yapmaktadırlar..*” (Türkiye Barolar Birliği, 2015).

13 Mayıs 2014 tarihinde Soma’da meydana gelen maden kazasına ilişkin olarak düzenlenen Bilirkişi Raporu ile TMMOB MMO Araştırma Komisyonu Soma Faciası

Ön Raporu incelendiğinde; “*üretimin projeye uygun gerçekleştirilmemesi, üretim zorlaması olması ve bu süreçte iş sağlığı ve güvenliğinin ihmal edilmesi; çalışılan kömür damarlarının yangına müsait oluşları dikkate alınarak özellikle terk edilen eski üretim alanlarının kontrolünün yapılarak kömür yangınlarına karşı gerekli önlemler alınmaması (İSGK m.4/a,b,c); ocak yangınlarına karşı kapsamlı bir risk değerlendirmesi ve alınacak önlemlere ilişkin bir bölüm mevcut olmaması (İSGK m.10);*

*İşyerinde tahliye amaçlı bir planlama olmaması (İSGK m.12); herhangi bir tehlike durumunda tüm çalışanları uyarabilecek bir alarm sistemi, haberleşme sistemi kurulmamış olması (İSGK m.12); ocakta çıkabilecek bir yangın sonrasında kullanılacak kaçış amaçlı bireysel CO maskelerinin kontrollerinin düzenli olarak yaptırılmaması (İSGK m.12/a); havalandırma, gaz ölçüm sistemleri, kurtarma ekipmanlarının mevzuatta belirtilen özellik ve niteliklerde olmaması, çalışanların gereği gibi eğitilmemesi (İSGK m.17)”* şeklinde özetlenebilecek iş güvenliği önlemlerinin alınmadığı anlaşılmaktadır. Bu büyük kaza sonrasında, 28.10.2014 tarihinde gerçekleşen Ermenek maden kazasında da iş güvenliği önlemlerinin gereği gibi alınmadığı belirtilmiştir (Türkiye Barolar Birliği, 2015).

Soma kazasında bilirkişi raporundaki değerler kritik gaz seviyesinin ve sıcaklık değerlerinin aşıldığını göstermekte, yani oksijen seviyesi %19’un altına düşmüş, CO seviyesi 50 ppm’nin üstüne çıkmış ve buna rağmen ocakta halen üretim yapılmaktaydı. Nitekim Soma kazası olayında, kömürün oksijen ve su buharı nedeniyle içten yanması sonucunda sıcaklığın artması ve eksik yanma sonucu açığa çıkan karbonmonoksitin neden olduğu zehirlenme sonucunda madende işçiler hayatlarını kaybetmiştir.

Bu anda belirtilmelidir ki, Soma kazasında ocağın projesi, tasarımı, üretim planlaması ve *havalandırma sistemleri* bilimsel verilere uygun olarak düzenlenmemiş, kullanılan ekipmanlar da uygun niteliklerde seçilmemişti. Bu konular ayrıca MİGEM,



TKİ ve ÇSGB İş Teftiş Kurulu tarafından gerektiği gibi denetlenmemiştir (Bilge, 2014).

Bu büyük kaza da maden ocaklarında *havalandırma planının* ve bu plan içerisinde izleme sistemlerinin etkin bir şekilde yönetiminin ve denetiminin ne kadar önemli olduğunu göstermiştir.

Soma'daki bu kaza sonrasında Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) maden çalışma yerlerine özgü olarak düzenlemiş bulunduğu iş sağlığı ve güvenliği mevzuatının ülkemiz tarafından imzalanmamış olması birtakım çevreler tarafından tartışmaya açılmıştır. Türkiye geçtiğimiz senelerde, ILO'nun iş sağlığı ve güvenliği alanında düzenlemelere yer veren 155 sayılı İSG ve Çalışma Ortamına İlişkin Sözleşmesi'ni ve 187 sayılı İSG Geliştirme Çerçeve Sözleşmesi'ni imzalamış fakat madencilik sektörüne has tehlikelere ilişkin olarak özel iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin alınmasını öngören 176 sayılı Madenlerde İSG Hakkında Sözleşme'ye ise, daha önceki çeşitli girişimlerine rağmen taraf haline gelmemiştir. Buna karşın uluslararası alanda bu hususta sorumluluk yüklenmemiş olan Türkiye çeşitli kanun ve yönetmelikler ile madenlerde iş sağlığı ve güvenliğini kendi iç düzenlemeleri ile hüküm altına almış bulunmaktadır. Fakat dikkat edilmelidir ki Türkiye'de son dönemde, taraf olunan ILO Sözleşmeleri ile de orantılı olarak genel anlamda iş sağlığı ve güvenliği mevzuatının oluşturulması ve geliştirilmesine ağırlık verilmiş, buna karşın "havalandırma" gibi konuların dahil olduğu, madencilik sektörüne özgü risk ve tehlikelerin önlenmesine yönelik iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı (Maden İSG Mevzuatı) hem sayı hem de içerik bakımından daha yüzeysel bırakılmıştır (İşmen Günelçin Av. Ortaklığı).

Ancak aşağıdaki alt başlıklarda yapılan karşılaştırmalarda görülecektir ki, maden İSG mevzuatımızda iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesi konusunda çok çeşitli düzenlemelere yer verilmiştir (İşmen Günelçin Avukatlık Ortaklığı).

176 sayılı Madenlerde İSG Hakkında Sözleşme'de (ILO)'da "Havalandırma" başlığında aşağıdaki alt başlıklar bulunmaktadır (Pinar ve Sarı, 2011):

1. Genel Hükümler,
2. Maden Havalandırma Planı,
3. Madende Hava Değişiklikleri,
4. Çalışma Bölgelerinin/Bölümlerinin ve Çalışma Alanlarının Havalandırılması,
5. Maden Havalandırma Fanları,
6. Ana Fan Kontrolü,
7. Yardımcı Fan Kontrolü,
8. Hava Ölçümü ve Metan Tespiti,
9. Metan Tehlikesi Olan Bir Madende veya Madenin Bir Bölümünde Alınacak Önlemler ve İnsanların Boşaltılması,
10. Kömür, Metan veya Diğer Zararlı Gazların Ani Patlamaları,
11. Metan Monitörleri (İzleme Cihazları),
12. Maden Genelinde Ortam İzleme Sistemleri (OİS),
13. Metan Drenajı.

*Havalandırma mevzuatı* konusunda yapılabilecek farklı çalışmalarda söz konusu başlıkların bazılarının birlikte değerlendirilmesi yapılabilir ve böylece *havalandırma mevzuatı* konusunda öneriler sunulabilir. Bu çalışmada ise, tüm başlıkların kapsamının genişliği itibarıyla, yalnızca "genel hükümler" ve yukarıda belirtilen konu başlıklarının tümünün yönetildiği ve üzerinde denetiminin yapılabileceği "havalandırma planı" konuları açıklanarak değerlendirilme yapılması tercih edilmiştir.

Bu yönelimle çalışmada, ILO 176 sayılı Sözleşmesi'nin veya madencilikte gelişmiş ve *iş sağlığı ve güvenliği kültürü* oluşmuş bazı ülkeler ile ülkemizin mevzuat hükümleri ve uygulamalarının kıyaslaması yapılarak genel bir değerlendirme ortaya konmuş ve *havalandırma* merkezinde *iş sağlığı ve güvenliği* kapsamında ülkemizde yapılması gerekenler genel olarak ifade edilmeye çalışılmıştır.

## 2.1 Ulusal Yasa ve Yönetmelikler Açısından Değerlendirme

›ILO'ya göre; bu sözleşmenin uygulanmasına yönelik önlemler ulusal yasa ve yönetmeliklerde belirtilecektir (ILO m.4.1). Gerektiğinde bu ulusal yasa ve yönetmelikler; yetkili merci tarafından belirlenmek üzere, teknik standartlar, uygulama kılavuzları ya da kurallar ile takviye edilecektir (ILO m.4.2).

Ülkemizde de madenler için genel ve özel nitelikte mevzuat yeterli derecede

bulunmaktadır. Ancak *havalandırmaya* özgü mevzuatın halen ayrıntılı olarak bir “yönetmelik” şeklinde mevcut olmaması, iş kazalarının yeterli derecede önlenememesine neden olan önemli bir eksikliklerdir.

Her ne kadar *havalandırma* konusu ilgili kanun ve yönetmeliklerde açıklanmış olsa da, Bilge, bu açıklamaların çok genel ifadeler içerdiğini (Bilge, 2014) şu örnekle göstermiştir:

Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği (MİİSGY) EK-1 m.5.3.1’de zararlı maddelerin ortam havasına karıştığı veya karışabileceği yerlerde,

a) zararlı maddelerin çıkışının kaynağında engellenmesi, b) kaynağından emilmesi ve uzaklaştırılması, c) bu maddelerin ortam havasındaki yoğunluğunun azaltılması...”

Ancak bu ifadeler o kadar esnek cümlelerdir ki küçük basit bir *fan* koyarak bu yönetmeliğe uyulmuş olunabilmekte ve böylece de denetimden geçilebilmektedir.

Bu örnek de göstermektedir ki, madencilikte gelişmiş ülkeler gibi, ülkemizde de *havalandırma* konusunda maden ocakları için acilen ciddi kriterlerle ve en detaylı şekilde bir “*Maden Ocaklarında Havalandırma Yönetmeliği*” çıkarılması ve hazırlanması şarttır. Bu noktada akla gelen soru; yapılacak düzenlemelerin yeni yapılan maden ocaklarından istenirken, varolan eski ocaklar için düzenlemelerin nasıl uygulanabileceği konusudur (Bilge, 2014). Bu konunun düzenleme yapanların dikkatinden kaçmaması gerekmektedir.

## 2.2 Maden Havalandırma Planı

➤ILO’ya göre bütün *işverenler* güvenli bir çalışma sistemi kurmak ve işçilerin korunmasını sağlamak için bir *havalandırma planı* ve prosedürü hazırlamalı ve uygulamalıdır (ILO m. 2.1). Bu *plan*, maden havalandırması yetersiz kaldığında ya da kesildiğinde yapılması gereken aşağıdaki işlemleri kapsamalıdır:

a) Maden boyunca hava akımının yönünü ve dağılımını;

b) Ana kapıların, hava regülatörlerinin, kapatılmış alanların, metan drenaj sistemlerinin, bütün maden vantilatörleri ile ana ve yardımcı vantilatörlerin, bütün hava ölçüm istasyonlarının, hava akımlarını ayıran

havalandırma kontrollerinin ve hava köprülerinin konumunu;

c) Giriş ağızı, dönüş, taşıma, bant konveyör, trolley teli ve hava tahliye yollarının yerlerini;

d) Giriş ve dönüş hava yollarında bölmelerin konulacağı yerleri;

e) Bütün çalışma alanlarının ve aynaların yerlerini ve hava miktarları ve havalandırma perdeleri ile boru sisteminin yerüstünden uzaklıklarını;

f) Uzunayak bölümlerinin hava giriş yollarında gerekli hava hacmini ve bir uzunayak ve kısaayak aynasında havanın hızı ve bu hızların ölçümlerinin yapılacağı yerleri;

g) Sabit bir yerde solunabilir toz örneklerinin alınacağı ve örnekleme cihazlarının konulacağı yerleri ve bu yerler için toz üretici kaynaklarda kullanılan solunabilir toz kontrol ölçümlerini;

j) Kullanılacak hava tahliye sisteminin, tasarımını ve verimliliğini de içerecek şekilde, tanımını;

p) Acil durumlarda kullanılacak kaçış yollarının yerlerini;... kapsamalıdır (Pınar ve Sarı, 2011).

Türk mevzuatına göre de; her ocakta, hava dağılım şebekesini, akımın yönünü, ana kapıların ve ölçme istasyonlarının yer ve durumlarını ve buna ilişkin diğer bilgileri kapsayan bir *havalandırma planı* bulundurulur.

Nitekim, TTK Havalandırma Yönergesi’ne göre; her müessesenin bir *havalandırma planı* bulunacak ve bu planda;

a-Yerüstü aspiratörünün yeri ve emilen hava miktarı,

b- Hava akış istikametleri ve miktarı,

c- Tali havalandırma sistemlerinin kullanıldığı yerleri,

d- Barajlar, kapılar ve hava köprüleri,

e- Hava ölçüm istasyonlarının yerleri gösterilecektir.

Genel havalandırma değişiklikleri en az yılda bir defa güncellenecektir (TTK Havalandırma Yönergesi m. 24).

Ayrıca, geneli itibariyle Türk mevzuatında işyerlerinin tehlikelere karşı yeterli koruma sağlanacak şekilde organize edilmesi gerektiği ifade edilmiştir (MİİSGY Bölüm A). Bu doğrultuda, iş sağlığı ve güvenliği idare sisteminin bir parçası olarak “havalandırma planı”nın hazırlanması ve buna göre ocak içerisinde üretimin gerçekleştirilmesi öngörülmüştür.

Böylece ilk olarak, *havalandırma planını* yapanlara, öncelikle ortamın sıcaklığı, rutubet, kış ve yaz şartları vd. faktörleri

değerlendirerek ton kömür başına kullanılacak hava miktarı hesaplanır ve bu raporun hazırlanmasından sorumlu işverene teslim edilir (Bilge, 2014).

İşveren de ilgili *havalandırma planlarını* hazırlatarak, bu suretle havalandırma ile ilgili değerlerin periyodik olarak ölçülmesi, ölçüm sonuçları kaydedilmesi, havalandırma sisteminin detaylarını kapsayan bir *havalandırma planının* hazırlanması, bu *planın* periyodik olarak güncellenmesi ve işyerinde hazır bulundurulması yükümlülüklerini yerine getirir. Hatta havalandırma ile ilgili, mevzuat hükümleri doğrultusunda hazırlanacak bir yönergede, *havalandırma planı* hakkında bilgi - çalışanların görebileceği yerlere de ayrıca asılmak suretiyle- belirtilir (MİİSGY EK-3 m.8.3. ve m.8.11).

Bu çerçevede yeraltı işletmelerinde üretim çalışmaları sürdürülürken işletme projesine aykırı olarak; yeraltındaki üretim faaliyetlerinin sürdürüldüğü alanların yerüstüne veya diğer kotlara iki ayrı yolla bağlanmadığı, panolarda *havalandırmanın* birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilmediği, yanıcı veya patlayıcı gaz geliri olabilecek ocaklarda yeterli *cebri havalandırmanın* yapılmadığı, *havalandırmanın* projeye uygun tesis edilmediğinin tespit edilmesi halinde can ve mal güvenliği vb. dışındaki üretim faaliyetlerinin durdurulacağı öngörülmüştür (Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği m. 34/5).

Nitekim, yeraltı işletme yöntemi ile faaliyet gösteren ocaklarda can ve mal güvenliği ile ilgili *havalandırma* bilgilerini içeren *havalandırma planı* ve bu *planın* en son durumunu gösterir uygun ölçekli çizim, her yıl Nisan ayı sonuna kadar işletme faaliyet bilgi formu ve satış bilgi formu ile birlikte -projede değişiklik olduğunda dahi- verilmek zorundadır (Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği madde 36-(1)).

Ayrıca, zincirleme toz patlamalarına neden olabilecek yanıcı toz ve/veya grizu patlamalarının yayılmasının patlama barajları yapılarak önleneyeceği, patlamayı durdurucu bu barajların yerlerinin ocaktaki üretim ve faaliyetlerden kaynaklı değişikliklere göre güncelleneceği ve yerlerinin imalat haritaları ve *havalandırma planında* gösterileceği öngörülmüştür (MİİSGY EK-3 m.11.4).

Buna ek olarak, bütün grizulu ocakların, *havalandırma planında* tespit edilen istasyonlarında, en geç 10 günde bir gerekli ölçümlerin yapılması ve hava akımını etkileyecek bir değişikliğin olması

durumunda gerekli ölçümlerin yenilenmesi öngörülmüştür (MİİSGY EK-3 m.10.4.).

Bu noktada maden işletmelerinin gaz akışı modelleri ile örneğin hangi gaz seviyesindeyken maden ocağını terkedeceğinin de, *havalandırma planlarında* yeterince aydınlatıcı olarak gösterilmesi gerekmektedir.

Zira tüm bu hususlarda; merkez ve havzalarda kurulan alt birimlerde, maden iş yerleri ile ilgili işletme projeleri, imalat haritaları, acil durum organizasyon ve planları gibi dökümanların yanında *havalandırma planlarının* da yer alması ve bu verilere alt birimlerin sorumlularının sanal ortamda ulaşımının sağlanması önemlidir (Türkiye Barolar Birliği, 2015).

Sonuç olarak, mevzuatımızda da öngörüldüğü üzere, söz konusu *havalandırma planları* maden planlamalarından çok önce yapılarak maden planlarına aktarılmalı ve devamında risk değerlendirmesi de mutlaka maden planlamalarından önce tanımlanarak bu planlara eklenmelidir.

İşverenin yapacağı risk değerlendirmelerinde test sonuçlarıyla maden işletmesi arasında bir eşleşme ve tam uyum olması gerekmektedir. Tüm bunlar yapılmadığı takdirde iş kazalarının kaçınılmaz olacağı ve bunun da madencilğe zarar vereceği unutulmamalıdır.

### 2.3 İşverenin ve Nezaretçinin Sorumluluğu Açısından Değerlendirme

>ILO'ya göre; belirtilen ulusal yasa ve yönetmelikler, madenlerde güvenliği izleyip gerekli düzenlemeleri yapacak yetkili mercii belirleyecektir (ILO m. 5.1).

Bu noktada maden idaresi, yeni kurulacak maden için tasarım veya kuruluş aşamasından başlamak üzere tehlikeleri tanımlamalı, riskleri belirlemeli ve analiz ederek risk kontrol tedbirlerini kararlaştırmalıdır. Zira bir maden işletmesinde iyi bir iş güvenliği yönetim sisteminin oluşturulması kazaların en aza indirilmesi açısından son derece önemlidir (Biçer, 2016).

Bu doğrultuda Türkiye'de de İSGK'nın (İşverenin Genel Yükümlülüğü) m. 4 (1)'e göre; *işveren*, çalışanların işle ilgili sağlık ve güvenliğini sağlamakla yükümlü olup bu çerçevede;

a) Mesleki risklerin önlenmesi, eğitim ve bilgi verilmesi dâhil her türlü tedbirin

alınması, organizasyonun yapılması, gerekli araç ve gereçlerin sağlanması, sağlık ve güvenlik tedbirlerinin değişen şartlara uygun hale getirilmesi ve mevcut durumun iyileştirilmesi için çalışmalar yapar,  
 b) İşyerinde alınan iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerine uyulup uyulmadığını izler, denetler ve uygunsuzlukların giderilmesini sağlar,  
 c) Risk değerlendirmesi yapar veya yaptırır,  
 d) Yeterli bilgi ve talimat verilenler dışındaki çalışanların hayati ve özel tehlike bulunan yerlere girmemesi için gerekli tedbirleri alır (İSGK m. 4.). Ayrıca bakınız (İSGRDY m. 4 ve 5).

Ülkemizde 6331 sayılı İSGK'nın 23. maddesiyle, çalışma hayatının iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin alanlarındaki gözlemlerin yapılması ve gerek görülen iyileştirmelerin hayata geçirilmesi için politika ve stratejilerin belirlenmesi görevini yerine getirmek üzere ilgili bakanlıkların, meslek odalarının konfederasyonların ve işveren, işçi ve kamu görevlileri sendikalarının temsilcilerinin katılımları ile toplanacak "Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Konseyi" kurulmuştur (İşmen Günalçin Av.Ortaklığı).

Çalışma hayatının *denetimi* ve *teftişi* ile bu alanda gerekli düzenlemelerin yapılması yetkisi ise 4857 sayılı İş Kanunu'nun 91. maddesi uyarınca ÇSGB'ye verilmiştir. Teftiş görevi ÇSGB'ye bağlı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı tarafından görevlendirilen *müfettişler* aracılığıyla yerine getirilir.

Ancak denetim görevi yapan müfettişlerin sayısı yetersizdir. Bundan daha önemlisi, müfettişlerin arasında yeteri kadar madencilik tecrübesine sahip olmayan elemanlar vardır. Halbuki "madencilığın her safhasını kapsayacak şekilde çalışmış, tecrübe sahibi olma şartı" aranması gerekmektedir. Ayrıca, içinde çok işçi çalışan belli büyüklükteki ocaklara mutlaka tecrübeli *müfettişler* yollanmalı, bunlar da incelemelerini, özellikle toplu ölümlere yol açan "grizu patlaması, yangın, su patlaması, büyük göçük tehlikesi gibi konular" üzerinde yoğunlaştırarak yapmalıdırlar (Eskikaya, 2015).

>ILO'ya göre; *işveren*, girişe izin verilen bütün yeraltı çalışma alanlarında yeterli *havalandırma* için gerekli her önlemi almakla *yükümlüdür*. Ayrıca *işveren*; maden

yangınları ve patlamalarının başlamasının ve yayılmasının önlenmesi ve tespit edilmesi ve bunlara karşı savaşılmaması için madencilik faaliyetlerinin yapısına uygun olarak bütün önlemleri almalıdır. Buna ek olarak işçilerin sağlığını ve güvenliğini tehdit eden ciddi bir tehlike durumunda, çalışmaların durdurulmasını ve işçilerin güvenli bir yere geçmesini sağlamalıdır (Pınar ve Sarı, 2011); (ILO m. 1.1).

Ülkemiz mevzuatında da yukarıdaki belirtilen kapsamda ve uygun içerikte *işverenin* alması gereken önlemlerin genel olarak bir kısmına yukarıda bahsedilmişti. Nitekim ocak içerisinde *işveren*, patlama ve yangın çıkmasını önlemek, patlama ve yangın başlangıçlarını tesbit etmek, yayılmasını önlemek ve mücadele etmek, patlayıcı ve sağlığa zararlı ortam havasının oluşmasını önlemek için yapılan işe uygun önlemler almak zorundadır (MİİSGY m.6).

>*Nezaretçinin yükümlülüğü* konusunda ise, ILO'ya göre madenin güvenli biçimde işletilmesini sağlamak üzere her vardiyada yeterli denetim ve kontrolün sağlanması gerektiği ifade edilmiştir (ILO m. 10 (b)).

Nitekim Türk mevzuatında da, MİİSGY EK-1 madde 1.3'te; "Yapılan tüm çalışmalarda, çalışanların sağlık ve güvenliğinin korunmasının sağlanması için işverence atanan, yeterli beceri ve uzmanlığa sahip kişiler tarafından gerekli gözetim ve denetim yapılır. Sağlık ve güvenlik dökümanında, gerekli görülmesi halinde çalışılan yerler gözetim yapan kişi tarafından her vardiyada en az bir defa kontrol edilir." demek suretiyle devam eden hükümlerde madende yapılacak denetimler hüküm altına alınmıştır (İşmen Günalçin Avukatlık Ortaklığı).

Bu doğrultuda, *nezaretçi*, havalandırma sisteminin genel denetimi ve hava ölçüm ve analizlerinin düzenli olarak yapılmasını sağlar. Bu suretle *havalandırma* konusunda ocak içerisinde yapılacak denetim ve iyileştirme raporlarının *havalandırmadan sorumlu nezaretçi* tarafından hazırlanması ve maden işletme yöneticisine sunulması öngörülmüştür.

Bu yönelimle TTK Havalandırma Yönergesi'nde *havalandırma* konusunda yapılması gerekenler belirtilmiştir.

Örneğin söz konusu Yönergede m.44'de *iş güvenliği nezaretçisinin* veya teknik elemanın, onaylı deftere tespit ettiği tehlikeli durumları ve alınan önlemleri rapor edeceği öngörülmüştür.

Yine, grizulu ocaklarda çalışan *daimi nezaretçi* ile iş güvenliğinden sorumlu *nezaretçilere* vantilatör ve/veya aspiratörlerin arızalanması halinde ocağı kısmen ya da tamamen boşaltma yetkisi verilmiştir.

Nitekim bir tehlikeyi önleme veya giderme amacıyla çalışılması gereken ve içinde tehlikeli derecede metan birikmiş bulunan yerlerdeki faaliyetler ile kurtarma faaliyetleri, hatta ocağın herhangi bir kısmında az miktarda metan birikmiş olsa dahi temizleme işleri, *daimi nezaretçinin* talimatlarına uygun biçimde, *daimi nezaretçi* tarafından görevlendirilen ve bu konuda tecrübeli *nezaretçilerin* sürekli denetimi altında yapılacaktır. TTK Havalandırma Yönergesi'nin 29. maddesinde bu doğrultuda ayrıntılı olarak yapılması gerekenler belirtilmiştir.

Ayrıca *nezaretçinin* izni olmadan ocağın genel havalandırma sisteminde esaslı herhangi bir değişiklik yapılamaz.

Yukarıda hem *işveren* hem de *nezaretçi* açısından durum, mevcut mevzuatta ilgili hükümler belirtilerek açıklanmaya çalışılmıştır. Ancak ülkemizde *iş sağlığı ve güvenliği* yönünden eksikliklerin bertaraf edilmesi istendiğinde; her şeyden önce ülkemizde *iş güvenliği kültürü* oluşmadığına dikkat çekilebilir. *İş sağlığı ve güvenliğine* en çok etki eden unsur aslında "güvenlik kültürü"dür. Bu kültürün oluşması için madencilik faaliyetlerini bütünleyen tüm tarafların (en başta hükümet olmak üzere, üniversiteler, madencilik dernekleri, işçi temsilcileri ve işçiler) biraraya gelerek kısa/orta/uzun vadeli iş sağlığı ve güvenliği eylem planları hazırlayıp bunları hayata geçirmeleri gerekmektedir. Tabi bir maden işletme müdürünün, madenlerdeki koşulları iyileştirmek için maden ocağında yapabileceği yeniliklere karşı bu kültürün

diğer paydaşlarda da bulunması veya onlar tarafından benimsenmesi gerekmektedir. Aksi halde *iş güvenliği kültürünün* olumlu ölçüde gelişmesi beklenemez.

Bu çerçevede örneğin yeraltı ocaklarında *havalandırmadan* sorumlu -kamu adına denetim yapan- *nezaretçinin* veya iş sağlığı ve güvenliği uzmanının ücretini işverenden alması anlayışı son derece hatalıdır. Bu nedenle denetimden sorumlu bu işçilerin objektif bir denetim yapmaları mümkün olamamakta ve ülke çapında "iş güvenliği kültürü"nü oluşturması zedelenmektedir.

Nezaretçinin ücretini doğrudan işverenden değil de, bir havuzdan alması halinde bile, eğer o *nezaretçinin* işe alınması veya işten çıkarılması işverenin elinde ise, o elemanın çalışmasında yine nesnellik beklenemez. Bu anda Eskikaya, üniversitelerde uygulanan sisteme benzer şekilde, belli büyüklükteki ocaklara, ücreti gene işverenden alınıp oluşturulacak bir havuzdan ödenecek şekilde, müfettişler arasından veya dışarıdan devlet tarafından seçilecek tecrübeli bir elemanın *nezaretçi* olarak atanabileceği, daha küçük ocaklar için ise bölge nezaretçisinin görevlendirilebileceği bir sistem önermiştir (Eskikaya, 2015).

Sistem her nasıl olursa olsun hükümetin tanımlanmış hakları, görevler sistemini oluşturması gerekmektedir. Tabi işçilerin de işlerindeki aksaklıkları temsilciler aracılığıyla söz konusu birimlere iletebildiği, kendilerinin ocak içerisinde güvenliğinin sağlandığını hissetmesi ve bu bilinçte olabilmesi de önemlidir.

Ülkemizde mevzuattan çok, uygulamadan kaynaklı iş kazaları ve ölümler ortaya çıkmaktadır. Maden işletmelerinin "ekip ruhu"yla iş sağlığı ve güvenliği kültürüne katkı sağlaması gereklidir. Bunun için *havalandırmadan* sorumlu mühendisler tüm teknik çalışanlar ile bölgesel alanlardaki maden koşullarını tartışarak iş güvenliğini sağlamalıdır.

Ayrıca işçilerin nitelikli ve sürekli eğitimi de önem taşımaktadır. Dünyanın en zor şartlarından ve en yüksek gaz içeriği bulunan madenleri Avustralya'da bulunmasına rağmen, bu ülkede iş kazalarının neredeyse hiç olmaması dikkate değerdir.

Nitekim Avustralya'da *havalandırmadan* sorumlu mühendisler 6 ayda/yılda bir eğitime tabi tutulmaktadır (Kızıl, 2016). Bu göz önüne alındığında ülkemizde ocaklarda *havalandırma* konusundan sorumlu *nezaretçilerin*, Avustralya'daki maden mühendisleri gibi güncel gelişmeleri takip edebileceği eğitimleri alabilmesinin sağlanması gerekmektedir.

Ayrıca *nezaretçilere* Avustralya'da maden ocaklarında *havalandırma* konusunda sorumluluğun verilebilmesi için bu konuda yüksek lisans yapmış olma veya sertifikalı eğitim alma zorunluluğu (Kızıl, 2016) getirilmiştir. Bu örnek durum dikkate alınarak ülkemizde de maden mühendisliği lisans bitirme projelerinin *havalandırma* konusunda yapılması yaygınlaştırılarak bu mezunlara, veya *havalandırma* konusunda sertifikalı eğitimler verilmesi suretiyle bu mühendisler -özellikle belli ölçekte üretimi aşan maden ocaklarımızda- *havalandırmadan sorumlu nezaretçi* görevleri verilmesinin faydalı olabileceği söylenebilir.

## 2.4 İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Diğer Yapılması Gerekenler - Öneriler

Sürdürülebilir madencilğin ana bileşenleri; üretimin gerçekleştirilmesi yanı sıra çevrenin korunması ve iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanmasıdır. Ancak bugüne kadar Türkiye'de genel itibariyle madenlerde *üretimin, iş sağlığı ve güvenliğinin* önünde değerlendirildiği bir gerçektir. Aslında bu yönelim maden işletmelerinde ciddi ekonomik kayıplar oluşturmaktadır.

Madencilikte gelişmiş bir diğer ülke Güney Afrika Cumhuriyeti'nin kömür madenlerindeki metan içeriğinin de ülkemize benzer şekilde kısmen düşük olduğu bilinmektedir. Bu ülkede geçmişte maden kazaları dahil tüm ölümler 20 yıl kadar önce ~ 600 işçi/yıl iken, günümüzde ~75 işçi/yıl ölüm rakamına inerek büyük başarı elde edilmiştir. Bu ülkede geçmişte ölümlü kaza olduğu zaman kayıp zamanlar ile yüz milyonlarca Türk lirası eşdeğerinde maddi kayıpların yaşandığı dikkate alınarak, maden işletmelerine, ölümlü bir kaza yaşanmaması

halinde, "bonus" verilmesi öngörülmüştür (Güler, 2016). İş güvenliğini etkin olarak sağlatmaya yönelik bu tür teşvik uygulamalarının ülkemizdeki maden işletmeleri için de öngörülmesi faydalı olabilecektir.

Söz konusu *iş güvenliği kültürünü* oluşturmak için araştırma ve geliştirmeye de yeterince kaynak aktarılması gerekmektedir.

Bu kaynak aktarımına en güzel örnek, iş kazalarının oldukça düşük gerçekleştiği Avustralya'da bütün maden şirketlerinin, ürettikleri kömürün tonu başına 5 cent vermelerinin zorunlu tutulmasıdır. Bu ülkede yaklaşık 18 milyon \$'ı bulan toplanan paralar yalnızca iş sağlığı ve güvenliğinin araştırılması ve geliştirilmesi için, tamamen iş kazalarının önlenmesi ve bunu sağlamaya yönelik oluşturulabilecek sistemlerin incelenmesi için, devletin kontrolünde harcanmaktadır (Canbulat, 2016).

Sadece yıllık iş sağlığı ve güvenliğini araştırma bütçesi olarak Güney Afrika Cumhuriyeti'nde 20 milyon \$, Avustralya'da ve ABD'de 50'şer milyon \$, Avrupa Birliği'nde (AB) 100 milyon \$ ve Çin'de ise 150 milyon \$ ayrılmaktadır. Türkiye'deki madencilik büyüklüğünü göz önüne alacak olursak 15 milyon \$'lık bir araştırma-geliştirme bütçesi ayrılması, kazaların önlenmesini, bu konuda teknoloji geliştirilmesini ve eğitimlerin verilmesini sağlayacaktır (Canbulat, 2016).

Bu tabloda; araştırma ve geliştirmeye yeterince bütçe ayırmayan Türkiye yılda milyarlarca dolarlık kömür ithalatı yaparken, son yıllarda sadece kömür madenlerinin Avustralya'da kazandığı para yılda yaklaşık 49 milyar \$, Çin'de ise 280 milyar \$'dır. Bu durum iş sağlığı ve güvenliği için araştırmaya ve geliştirmeye harcanan paraların onlarca katıyla işletmelere ve ülkelere kazandırdığını göstermektedir.

Dolayısıyla maden işletmeleri, iş sağlığı ve güvenliğine, *havalandırma sistemlerine* harcaacakları paraları yüksek görmemelidir ve bunun için oluşturulacak sistemlerin işletmelerine para kazandıracağını göz ardı etmemelidirler.

Zira iş sağlığı ve güvenliğine yeterince önem verilerek kaynak ayrılabilirse, tüm

maden işletmelerinde sadece yaralanmaların ve ölümlerin engellenmesi değil, iş kazaları sonucu işçiler ile işletme üzerinde maddi kayıpların yanı sıra maden üretiminde kayıp zamanlar da ortaya çıkmayacak ve böylece bu kayıp zamandan kaynaklı on milyonlarca liralık maddi kayıplara da son verilmiş olunacaktır.

### 3 SONUÇLAR

Maden kazalarında meydana gelen ölüm oranları incelendiğinde, maalesef ülkemiz gelişmiş ülkelere göre çok yüksek ölüm oranlarına sahiptir. Özellikle kömür madenciliğinin günümüzde kendine özgü zor ve tehlikeli çalışma koşulları barındırması nedeniyle bu oranın yükselmesi, diğer sektörlerle kıyasla madencilikçe özgü daha özenli bir mevzuatın hazırlanması ve uygulanması gerekliliğini zorunlu kılmaktadır.

Bu itibarla, özellikle ülkemizdeki maden kazalarının büyük çoğunluğunun *havalandırma* ile ilgili önlemlerin yeterli derecede alınmamış olması durumu dikkate alınmalıdır. Böylece ülkemizdeki maden işletmelerinde kazaların önlenmesi adına iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması için *havalandırma planlarının* mevzuat çerçevesinde etkin bir şekilde yönetimi ve denetimi ortaya koyulmalıdır.

Mevcut mevzuatta yalnızca Kanunlar, Yönetmelikler, Genelgeler vb. değil, işletmelerin/müesseselerin kendi ocaklarına uygun olarak çıkardıkları Yönergeler, Teknik Şartnameler de işlev görebilmektedir. Burada belirtmelidir ki bu özel koşullar için ortaya konmuş, ayrıntıları da içeren düzenlemelerin ülkenin tümündeki yeraltı maden ocaklarında uygulanamayacağını da belirtmek gerekir. Zira her ocağın koşullarının farklı olduğu söylenebilir.

Mevzuatın uygulamada daha etkin ortaya konması için madencilikte gelişmiş ülkeler gibi, ülkemizde de *havalandırma* konusunda maden ocakları için acilen ciddi kriterlerle ve en detaylı şekilde bir "*Maden Ocaklarında Havalandırma Yönetmeliği*" çıkarılması ve hazırlanması şarttır.

Bunun için maden üretim sistemini bütünleyen tüm tarafların biraraya gelerek kısa/orta/uzun vadeli *iş sağlığı ve güvenliği eylem planları* hazırlayıp bunları hayata geçirmeleri ve tüm paydaşların, yapılması gereken mevzuat konusunda ve ülke genelindeki farklı koşullarda bulunan bu mevcut ocaklar için önerilerinin dikkate alınması gerekmektedir.

Tabi bu anda, çalışmada belirtilen, 176 sayılı Madenlerde İSG Hakkında Sözleşme'de (ILO'da) "Havalandırma" konu başlıkları ve madencilikte gelişmiş ülkelerin mevzuatları değerlendirilirken ülkemizde özellikle AB çevre mevzuatının, yönergelerinin, ülkemiz madenciliği dikkate alınmaksızın geçmişte mevzuatımıza yansıtılmaya çalışılması hatırlanmalıdır. Gerçekten de, birebir AB Yönergelerinin, hatta bu Yönergelerden daha kısıtlayıcı hükümlerin ilgili Çevre Yönetmeliklerine konulmuş olması madencilik sektöründe öngörülebilirliği ortadan kaldıran ağır bir tablo yaratmıştır.

Benzer durumun *iş sağlığı ve güvenliği* ve bu kapsamda "*havalandırma mevzuatı*" konusunda da yaşanmaması gerekliliği dikkatlerden kaçmamalıdır. Elbette ülkemizde *havalandırma* konusunda mevzuat hazırlanırken ILO ve benzeri mevzuatların başlıkları ve içeriklerinden yararlanılabilir.

Hatta, özellikle son on yılda ölümlü maden kazalarında dünyaya kıyasla belirgin derecede düşüş sağlanan ve düşük sonuçlar ortaya çıkan Avustralya ve Güney Afrika gibi ülkelerdeki iş sağlığı ve güvenliği düzenlemeleri, *havalandırma* konusundaki düzenlemeler ve uygulamaların -uygun olduğu ölçüde- bazıları ülkemiz için de örnek alınabilir.

Ancak unutulmamalıdır ki her ülkenin maden işletme şartları kendine özgüdür. Bu itibarla maden üretim sistemini bütünleyen tüm paydaşlar, iş sağlığı ve güvenliği yönünden -ülkemizin farklı maden ocak koşullarına da uyacak şekilde- bir mevzuatın hazırlanması için çaba sarfetmelidir.

### KAYNAKLAR

- Baycık, G., 2006. İş ve Sosyal Güvenlik Hukuku Açısından Maden İşçileri. Yetkin Yayınları, Ankara, 238 s.
- Biçer, N., 2016. Maden Planlaması ve Altyapı Tesislerinin İş Güvenliğindeki Önemi, (Sunum), Uluslararası Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliği

- Konferansı ve Sergisi (05-06 Aralık 2016), Türkiye Madenciler Derneği (TMD).
- Bilge, M., 2014. Ayın Dosyası / Maden Ocaklarında Havalandırma, MTMD Başkan Yardımcısı Mustafa Bilge ile röportaj, Termo Klima Dergisi, Temmuz 2014, s.114-118.
- Canbulat, İ., 2016. Mining Research & Development Strategies and Outcomes, (Sunum), 2. Uluslararası Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı ve Sergisi (05-06 Aralık 2016), Türkiye Madenciler Derneği (TMD).
- Erbayat, C. K., Akyel, H.S. ve Yüksel, A., 2011. Yeraltı Kömür Madenlerinde İş Müfettişliklerince Yapılan Kaza İncelemelerinin Değerlendirilmesi, Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 24-25 Kasım 2011, s.117-123, Zonguldak.
- Erbayat, C.K., 2016. Teftiş Gözüyle Türkiye Kömür Madenciliklerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Durum Özeti (Sunum), 2. Uluslararası Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı ve Sergisi (05-06 Aralık 2016), TMD.
- Eskikaya, Ş., 2015. Maden Kazalarını En Aza İndirmek için Çözüm Önerileri, Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 21-22 Aralık 2015, s.39-42, Adana.
- Güler, G., 2016. Safety in The South African Mines (sunum), 2. Uluslararası Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı ve Sergisi (05-06 Aralık 2016), TMD.
- İşmen Günalçin Avukatlık Ortaklığı. Türkiye'de Madenlerde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Mevzuatı ve 176 sayılı Madenlerde Sağlık ve Güvenlik Hakkında ILO Sözleşmesi Karşılaştırma, 22 s.
- Kaynak, S. Ö. ve Kaynak, D., 2009. İş Kazaları Nedenlerine Farklı Bir Bakış ve Çözüm Önerileri, Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 19-20 Kasım 2009, s.49-56, Adana.
- Kızıl, M., 2016. Training in The Australian Coal Mining Industry, (Sunum), 2. Uluslararası Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı ve Sergisi (05-06 Aralık 2016), TMD.
- Maden Mühendisleri Odası (MMO), 2010. Madencilikte Yaşanan İş Kazaları Raporu, 152 s.
- Ökten, G. ve Fişne, A., 2015. Yeraltı Kazı Çalışmalarında Havalandırma Esasları-2, Sektörden Haberler Bülteni, Sayı 58, Ekim 2015, s.42-43.
- Pınar, T. ve Sarı, Y. D., 2011. Yeraltı Kömür Madenlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği, International Labour Office (ILO) Tarafından 2009 yılında Cenevre'de Yayınlanan Kitabın Çevirisi, Ankara, s.208-244.
- Tien, J.C., 2016. Mining OHS Practices in China Past, Current and Prospects -Use Coal Industry as an Example- (Sunum), 2. Uluslararası Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı ve Sergisi (05-06 Aralık 2016), TMD.
- TTK Genel Müdürlüğü İş Sağlığı, Güvenliği ve Eğitim Dairesi Başkanlığı, 2015. TTK Havalandırma Yönergesi, 15 s.
- Torun, M. ve Tekin, A.M., 2011. Ülkemiz Yeraltı Kömür İşletmeciliğinde Yaşanan Bazı Büyük İş Kazalarının Neden-Sonuç İlişkileri ve Değerlendirmeler, Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 24-25 Kasım 2011, s.81-91, Zonguldak.
- Türkiye Barolar Birliği, 2015. Soma Maden Faciası – Benzeri Kazaların Önlenmesine Yönelik Sistem ve Temel Mevzuat Önerileri Hakkında Rapor, Türkiye Barolar Birliği Yayınları No: 288, 1. Baskı, Ankara, 136 s.
- Yaşar, S., İnal, S., Yaşar, Ö. ve Kaya, S., 2015. Türkiye'de Meydana Gelen Maden Kazalarının İstatistiksel Olarak İncelenmesi, Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 21-22 Aralık 2015, s.25-37, Adana.
- 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (İSGK), Yayımlandığı R.G. Tarihi/Sayısı: 30.6.2012 / 28339.
- İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği (İSGRDY), Yayımlandığı R.G. Tarihi/Sayısı: 29.12.2012 / 28512.
- Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği, Yayımlandığı Resmi Gazete Tarihi/Sayısı: 06.11.2010 / 27751.
- Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik (MİİSGY), Yayımlandığı R.G. Tarihi/Sayısı: 10.03.2015 / 29291.



# Düşük Kaliteli Kömürlerde Tenör-Tonaj Eğrileri ile Günlük Üretim Planlarının Hazırlanması

## *Preparation of Daily Production Plans for Low-Quality Coal with the Grade-Tonnage Curves*

A. C. Özdemir, A. Dağ, S. Ural

*Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana*

**ÖZET** Linyit yataklarının kalite parametreleri (ısıl değer, kül, nem v.b.) açısından bölgesel değişkenlikler gösterdiği bilinmektedir. Termik santrallerde enerji hammaddesi olarak kullanılan linyitin belirli bir kalite standardında üretilmesi gerektiğinden dolayı bu durum uzun, orta ve kısa vadeli üretim planlamasında en önemli konulardan birisidir. Üretim planlaması yapılırken tenör-tonaj ilişkisinin belirlenmesi büyük avantaj sağlayacaktır. Tenör-tonaj eğrileri sınır tenör üzerindeki kömür miktarı ve bu kömürün ortalama kalite değerini göstermektedir. Bu sayede üretim sırasında karşılaşılabilecek dalgalanmalar önceden görülebilecek ve gerekli önlemler alınabilecektir.

Bu çalışmanın amacı, Afşin-Elbistan Linyit havzasında bulunan Kışlaköy Linyit yatağına ait verilerin değerlendirilmesi, geliştirilen bir bilgisayar yazılımı ile belirli bir üretim panosuna ait tenör-tonaj eğrisinin elde edilmesi, doğru bir şekilde yorumlanması ve üretim planlaması için öneminin belirlenmesidir.

**Anahtar Kelimeler:** Kömür üretimi, kalite yönetimi, tenör-tonaj eğrisi

**ABSTRACT** It is known that lignite deposits show regional variability in terms of quality parameters such as calorific value, ash, moisture and etc. Because lignite used as an energy raw material in thermal power plants at a certain standard has to be produced, this situation is one of the most important issues for the long-term, the mid-term and the short-term production plans. The determination of grade-tonnage relationship will be a great advantage while the production planning is performing. The grade-tonnage curves indicate the coal amount above of cut-off grade and its average quality value. Thus, the fluctuations to be encountered during production previously can be seen and necessary precautions can be taken.

The purpose of this study, the evaluation of data belong to Kışlakoy lignite deposit in Afsin-Elbistan Lignite basin, the obtaining of grade-tonnage curves of a certain production panel by using computer software, its correctly interpretation and the determination of the important for production planning.

**Keywords:** Coal production, quality management, grade-tonnage curve

## 1 GİRİŞ

Son yıllarda enerji üretimi alanında yaşanan gelişmeler sonucunda Ülkemizde öz kaynakların değerlendirilmesi konusuna

büyük önem verilmeye başlanmıştır. Özellikle Ülke genelinde bulunan linyit yataklarının değerlendirilmesi ve termik santrallerin enerji üretimine katkısının artırılması planlanmaktadır. Bu amaçla termik santrallerin enerji üretimine en

verimli şekilde katkıda bulunmaları sağlanmalıdır.

Termik santrallerin hammadde ihtiyacını karşılayan kömür işletmelerinde en önemli planlama parametresi istenilen miktarda ve kalite sınır değerlerinde kömürün kesintisiz olarak sağlanabilmesidir. Arakesmelerin sıklıkla görüldüğü düşük kaliteli kömür yataklarında arzu edilen kalitede kömür üretimi daha hassas ve ayrıntılı kazı/üretim planları ile mümkün olabilecektir.

Madencilik sektöründe linyit yataklarının üretim planlanmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır (Dağ, 1997; Dağdelen, 2001; Zhang v.d., 2007; Souza v.d., 2010; Dautov, 2012). Üretim planlaması genel olarak uzun, orta ve kısa vade olmak üzere 3 zaman aralığına ayrılmıştır. Uzun vadede yapılan planlamalar duruma bağlı olarak 20-30 yıl zaman aralığında olabilmektedir. Orta vadeli planlama 1-5 yıllık zaman aralıklarında yapılan planlama olarak adlandırılmaktadır. Orta vadede yapılan planlar, cevherin çıkartılmasına yönelik daha özel ve detaylı bilgiler içermektedir. Bu 1-5 yıllık periyotlar ise daha detaylı planlama için 1-6 aylık kısa vadeli zaman periyotlarına ayrılmaktadır. Ayrıca kısa vadeli periyot da günlük ve aylık olarak alt periyotlara ayrılabilir.



Şekil 1. Çalışmada değerlendirilen üretim panosunun görünümü

## 2.2 Veri Seti ve Yazılımlar

Çalışma sahasında önceki yıllarda MTA Genel Müdürlüğü tarafından birçok sondaj yapılmıştır. Bu sondajlardan elde edilen sondaj no, sondajın coğrafi koordinat

(Krajewski ve Ritzman, 1999; Karaöz, 2014).

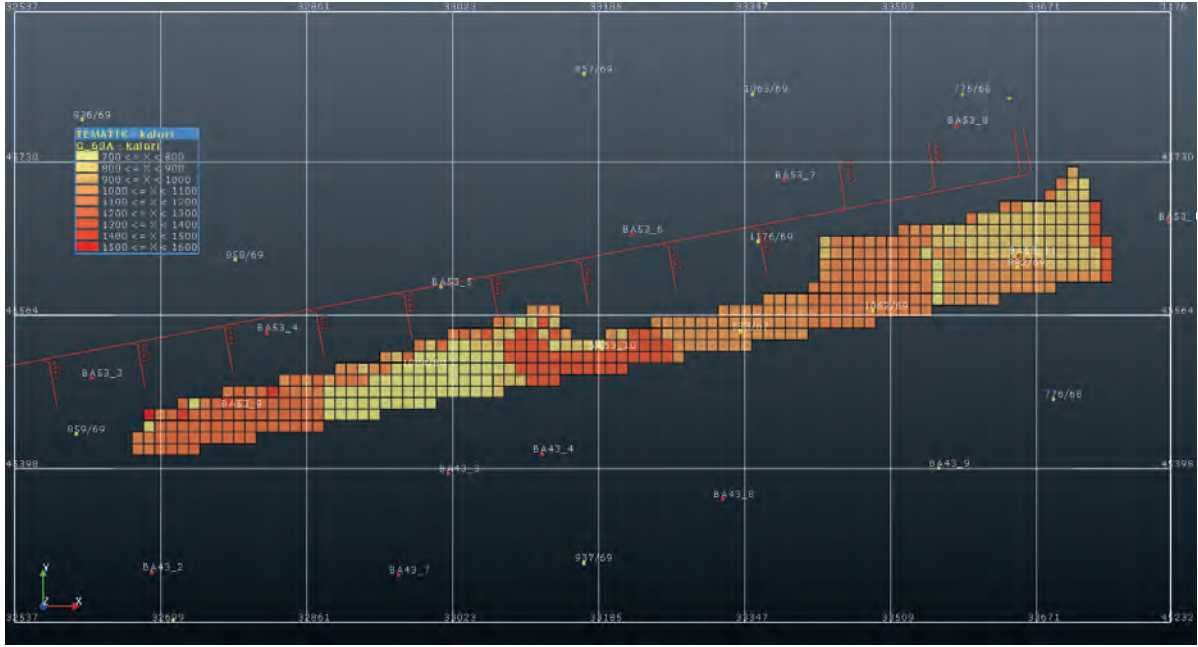
Bu çalışma, Netcad/Netpro-Mine ve yeni geliştirilen bir yazılım ile Kışlaköy linyit yatağına ait blok model veri tabanı ile istenilen üretim panosuna ait öznitelik değerlerinin dağılımının incelenmesini, tenör-tonaj bilgilerinin sorgulanmasını, üretim panosunun sektörlere göre dağılımının değerlendirilmesini ve saatlik bazda kısa vadeli üretim planlarının yapılmasını kapsamaktadır.

## 2 MATERYAL VE METHOD

### 2.1 Çalışma Sahası

Çalışma sahası olarak, Türkiye'nin en büyük linyit rezervine sahip Kahramanmaraş İli sınırlarında bulunan Afşin-Elbistan Linyit Havzası'na ait Kışlaköy linyit sahası seçilmiştir. Açık ocak işletmesi olarak, döner kepçeli ekskavatör ile üretim yapılan linyit sahasının 6. Basamağından bir üretim panosu belirlenmiş olup örnek uygulama bu üretim panosu üzerinden yapılmıştır. Şekil 1'de çalışmada değerlendirilen üretim panosunun sınırladığı alan görülmektedir.

(x, y, z) bilgileri ve öznitelik (ısıl değer, kül, nem) değerleri ile veri seti oluşturulmuştur. Çalışma alanının blok model üst görünümü ve sondajların dağılımı Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Üretim panosunun blok model görünümü ve sondaj lokasyonları

Veri setinin değerlendirilmesi, yüzey modelleme, katı model ve blok modellerin oluşturulması, bloklara öznitelik değerlerinin atanması ve raporlama işlemlerinin tamamı NETCAD/Netpro-Mine madencilik yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca blok raporları üzerinden kalite ve üretim planlarının hazırlanmasına yardımcı olacak Visual Basic dilinde bir bilgisayar yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programı üretim sahasına ait blok model bilgilerini içeren blok raporu üzerinden çalışmaktadır. Diğer girdi parametreleri ise üretim kapasitesi (ton/saat), üretim panosu genişliği (m), üretim panosu yüksekliği (m) ve ısıl değer alt limit (kcal/kg) değerleridir.

### 3 ÖRNEK UYGULAMA

#### 3.1 Üretim Panosunun Alt Isıl Değer Aralıklarına Göre Değerlendirilmesi

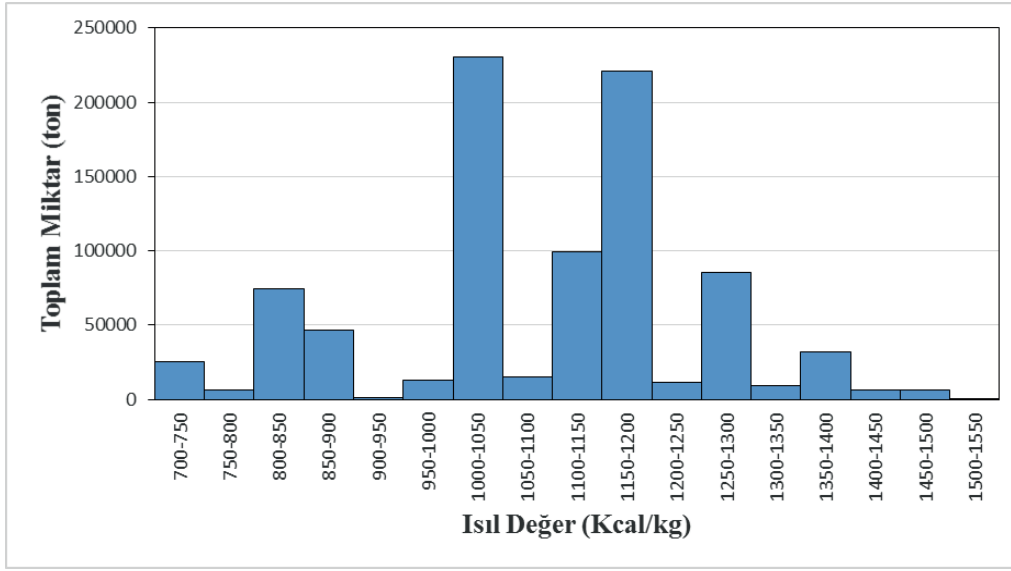
Çalışma sahası için alt ısıl değer 750 kcal/kg olarak belirlenmiştir. Üretim panosundaki kömür ısıl değer dağılımını görmek için 700-1550 kcal/kg arasında 50 kcal/kg artışlar ile toplam kömür miktarı ve dekapaj miktarı hesaplanmıştır (Çizelge 1).

Ayrıca Çizelge 1'de hesaplanmış değerler üzerinden kömür miktarı ve ısıl değer arasındaki ilişkiyi gösteren histogram Şekil 3'te verilmiştir. Bu üretim panosunda en fazla kömür 1000-1050 kcal/kg, en az kömür

ise 1500-1550 kcal/kg değerleri arasında olduğu görülmüştür.

Çizelge 1. Üretim panosunun Alt Isıl Değerlerine göre dağılımları

Alt Isıl Değer Aralığı (kcal/kg)	Kömür Miktarı (m <sup>3</sup> )	Kömür Miktarı (ton)	Ara Kesme Miktarı (m <sup>3</sup> )
<750	19589,1	25661,7	188265,6
750-800	4767,2	6245,0	
800-850	56928,1	74575,8	
850-900	35532,8	46548,0	
900-950	662,5	867,9	
950-1000	10101,6	13233,0	
1000-1050	176162,5	230772,9	
1050-1100	11335,9	14850,1	
1100-1150	75581,2	99011,4	
1150-1200	168651,6	220933,5	
1200-1250	8442,2	11059,3	
1250-1300	65210,9	85426,3	
1300-1350	7242,2	9487,3	
1350-1400	24179,7	31675,4	
1400-1450	4514,1	5913,4	
1450-1500	4575,0	5993,2	
1500-1550	56,2	73,7	
<b>Toplam</b>	<b>673532,8</b>	<b>882328,0</b>	<b>188265,6</b>



Şekil 3. Üretim panosunun Isıl Değerlerine göre dağılımlarını gösteren histogram

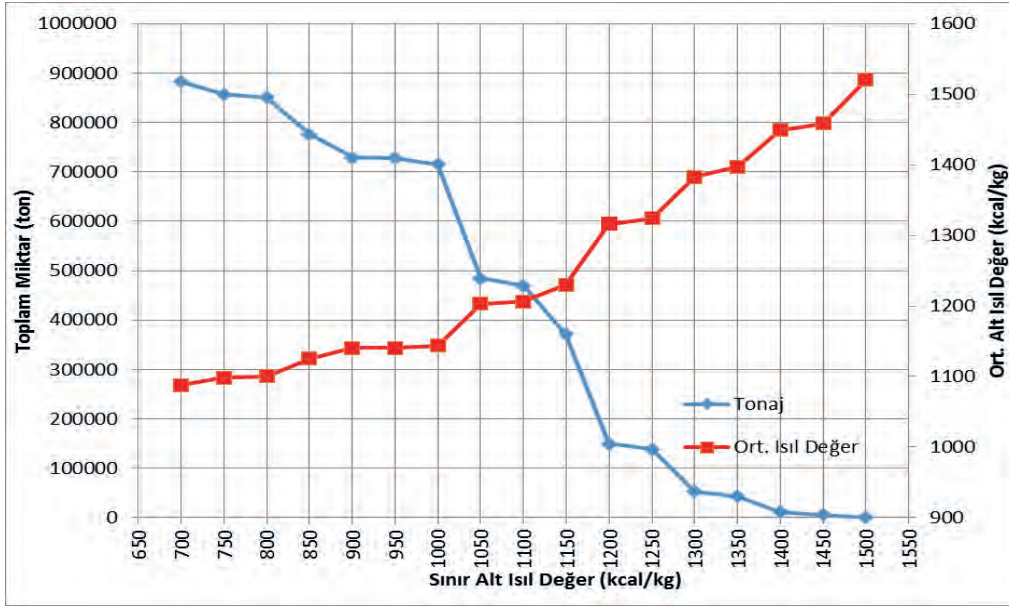
### 3.2 Üretim Panosunun Tonaj-Ortalama Kalite Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Üretim panosunun kontrolünün sağlanması açısından tonaj-ort. kalite parametrelerinin dağılımını gösteren Çizelge 2 hazırlanmıştır. Burada herhangi bir ısıl değer üzerindeki kömür miktarı ve bu kömüre ait ort. kalite parametrelerinin değerleri bulunmaktadır. Bu

çizelgeden yola çıkılarak üretim planlamasında oldukça faydalı olan Tenör-Isıl Değer dağılım grafiği elde edilmiştir (Şekil 4). Bu çizelge ve grafikten istenilen ort. ısıl değerde kömür üretebilmek için hangi ısıl değer limitlerinde çalışılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 2. Tonaj-Ort. Kalite parametrelerinin dağılımı

Isıl Değer >= (kcal/kg)	Kömür Miktarı (m <sup>3</sup> )	Kömür Miktarı (ton)	Ort. Isıl Değer (kcal/kg)	Ort. Kül (%)	Ort. Nem (%)
700	673532,8	882328,0	1087,9	19,5	54,5
750	653943,7	856666,3	1098,2	19,4	54,6
800	649176,6	850421,3	1100,4	19,4	54,6
850	592248,4	775845,4	1125,4	19,0	54,7
900	556715,6	729297,5	1140,6	18,7	54,7
950	556053,1	728429,6	1140,8	18,7	54,7
1000	545951,6	715196,5	1143,9	18,7	54,7
1050	369789,1	484423,7	1202,8	17,4	55,0
1100	358453,1	469573,6	1206,6	17,3	55,0
1150	282871,9	370562,2	1230,3	17,3	54,6
1200	114220,3	149628,6	1316,5	15,4	54,1
1250	105778,1	138569,3	1324,1	15,1	54,0
1300	40567,2	53143,0	1382,8	15,9	52,2
1350	33325,0	43655,7	1397,1	15,7	52,1
1400	9145,3	11980,4	1449,0	14,7	48,9
1450	4631,2	6066,9	1458,8	14,8	49,8
1500	56,2	73,7	1520,5	17,8	57,4

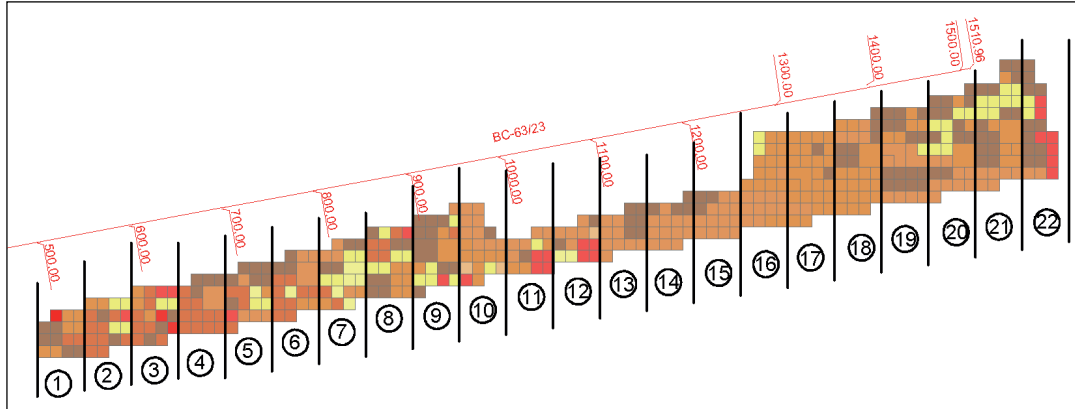


Şekil 4. Tonaj-Ort. Isıl Değer dağılım grafiği

### 3.3 Üretim Panosunun Sektör Bazında Değerlendirilmesi

Üretim panosunun eşit aralıklarda sektörlere bölünmesi planlama aşamasında büyük fayda sağlayacaktır. Bu çalışmada, üretim panosu bant başlangıç noktası referans alınarak 50 m aralıklar ile sektörlere ayrılmış olup toplam 22 adet üretim sektörü oluşturulmuştur (Şekil 5). Daha sonra her

sektöre ait Arakesme-Kömür miktarları ve ortalama öznelik değerleri hesaplanmış elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Ayrıca Çizelge 3'deki veriler değerlendirilmiş ve bant başlangıç noktası referans alınmış olup üretim ilerleme yönündeki alt ısıl değer ve kül değerinin sektörlere göre değişimi Şekil 6-7'de görülmektedir.

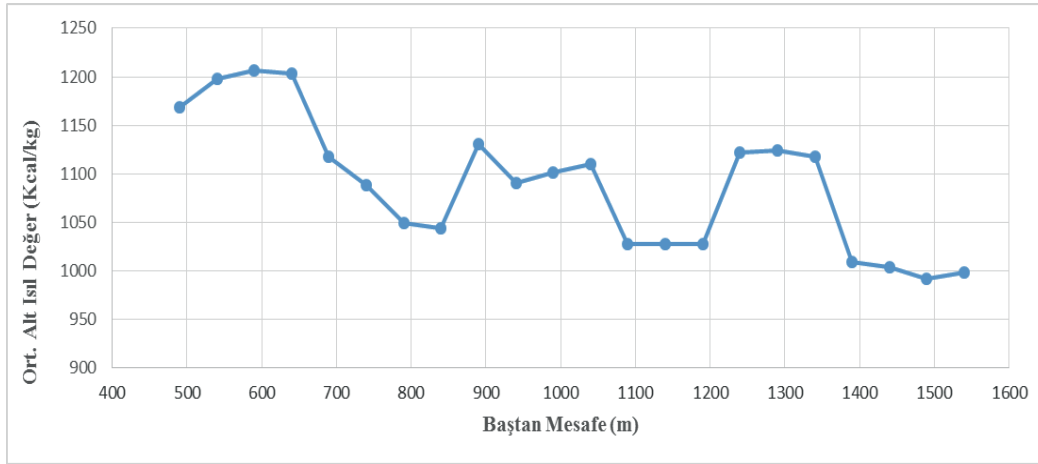


Şekil 5. Üretim panosunun sektörlere göre dağılımı

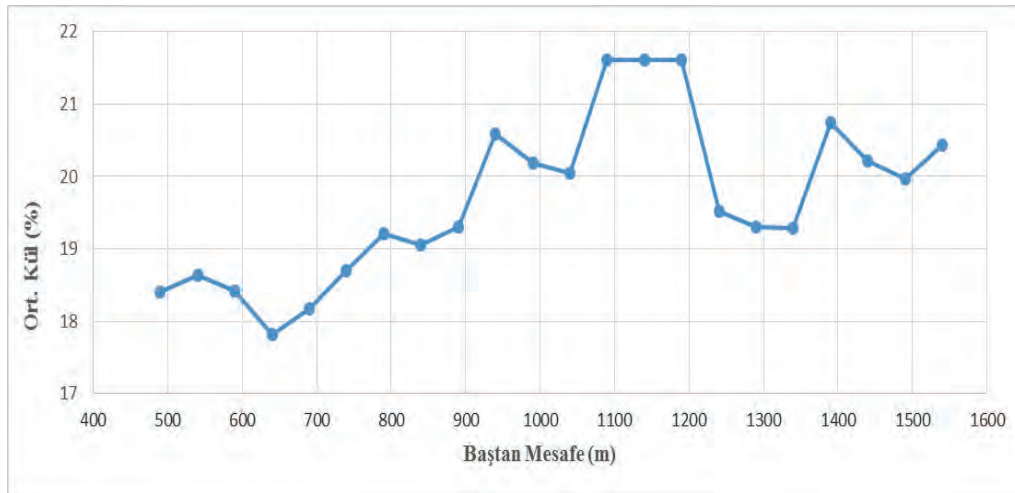
Çizelge 3. Sektörlere göre Arakesme-Kömür miktarları ve kalite parametrelerinin dağılımı

Sektör No (Baştan mesafe (m))	Arakesme Miktarı (m <sup>3</sup> )	Kömür Miktarı (m <sup>3</sup> )	Kömür Miktarı (ton)	Ort. Kalori (Kcal/kg)	Ort. Kül (%)	Ort. Nem (%)
1. sektör (480-530)	3029,7	12764,1	16720,9	1168,9	18,4	52,1
2. sektör (530-580)	4682,8	24200,0	31702,0	1197,9	18,6	50,7
3. sektör (580-630)	5492,2	25357,8	33218,7	1206,4	18,4	50,6
4. sektör (630-680)	7256,2	26598,4	34843,9	1203,0	17,8	52,1

5. sektör (680-730)	5598,4	29359,4	38460,8	1118,0	18,2	55,6
6. sektör (730-780)	4654,7	32557,8	42650,7	1088,6	18,7	55,0
7. sektör (780-830)	4598,4	41690,6	54614,7	1048,9	19,2	54,5
8. sektör (830-880)	5928,1	46559,4	60992,8	1043,8	19,1	54,6
9. sektör (880-930)	15562,5	41784,4	54737,5	1130,3	19,3	54,0
10. sektör (930-980)	3829,7	21165,6	27727,0	1089,9	20,6	53,3
11. sektör (980-1030)	1323,4	8729,7	11435,9	1100,8	20,2	53,6
12. sektör (1030-1080)	1921,9	11906,2	15597,2	1109,5	20,0	53,7
13. sektör (1080-1130)	3476,6	14100,0	18471,0	1028,0	21,6	57,8
14. sektör (1130-1180)	2567,2	14868,7	19478,1	1028,0	21,6	57,8
15. sektör (1180-1230)	1885,9	15634,4	20481,0	1028,0	21,6	57,8
16. sektör (1230-1280)	0,00	41204,7	53978,1	1121,4	19,5	54,5
17. sektör (1280-1330)	1053,1	65453,1	85743,6	1124,0	19,3	54,9
18. sektör (1330-1380)	7050,0	61757,8	80902,7	1117,1	19,3	55,0
19. sektör (1380-1430)	31921,9	36578,1	47917,3	1009,2	20,7	54,3
20. sektör (1430-1480)	27839,1	41048,4	53773,4	1003,3	20,2	55,3
21. sektör (1480-1530)	24418,7	47085,9	61682,6	991,6	20,0	56,0
22. sektör (1530-1580)	4585,9	13128,1	17197,8	998,6	20,4	54,4
<b>Toplam</b>	<b>168676,6</b>	<b>673532,8</b>	<b>882328,0</b>			



Şekil 6. Baştan mesafeye göre alt ısıl değer değişimi



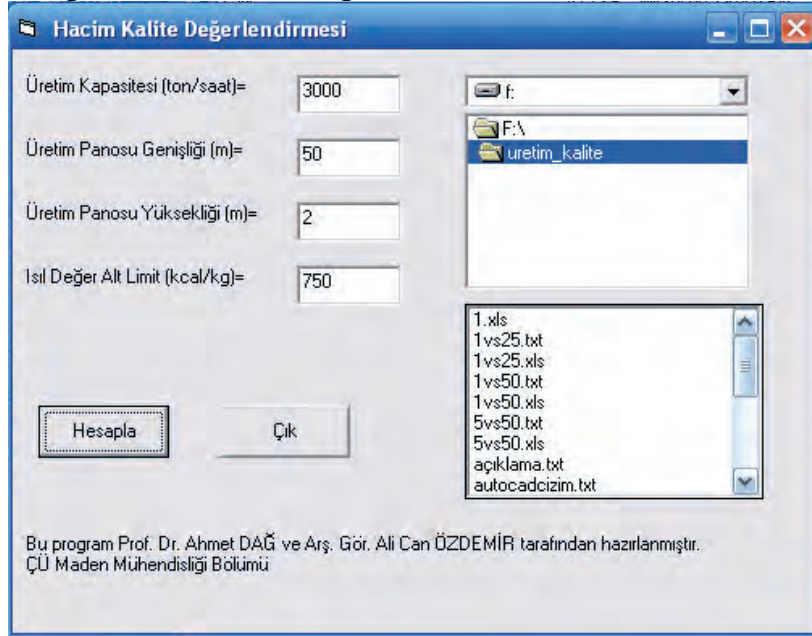
Şekil 7. Baştan mesafeye göre kül değeri değişimi

### 3.4 Kısa Vadeli Üretim Planlaması

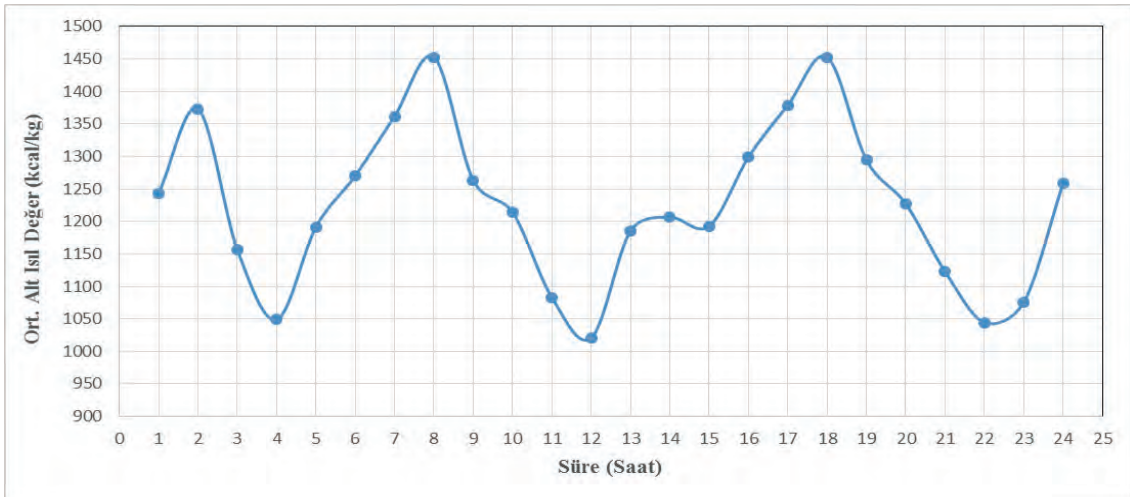
Kısa vadeli planlamanın amacı, üretim sırasında karşılaşılabilecek sorunların önceden görülmesi ve uygun önlemlerin alınmasını sağlamaktır. Aynı zamanda üretilen kömürün öznitelik değerlerinde istenilen koşulların karşılanması ve minimum standart sapmanın elde edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda hazırlanan bilgisayar yazılımı sayesinde farklı girdi parametreleri deneyerek elde edilen sonuçlardan optimum üretimin parametreleri belirlenebilmektedir. Şekil 8'de hazırlanan bilgisayar yazılımının arayüzü görülmektedir.

Örnek uygulama için üretim kapasitesi 3000 ton/saat, üretim panosu genişliği 50 m, üretim panosu yüksekliği 2 m, alt ısıl değer

ise 750 kcal/kg olarak alınmıştır. Bu parametrelerden elde edilen sonuçlar ile üretim panosunun saatlik ort. alt ısıl değer değişimi gözlenmiştir (Şekil 9). Bu grafikten üretim sırasında hangi saat aralığında hangi alt ısıl değerde üretim yapıldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca bu parametreler göz önünde bulundurularak üretim yapıldığında günlük ortalama alt ısıl değer 1226 kcal/kg olarak hesaplanmış olup standart sapma ise 418,76 kcal/kg değerinden 123,5 kcal/kg değerine düşürülmüştür. Elde edilen sonuçlar bu yazılım sayesinde farklı üretim parametreleri kullanılarak standart sapmanın değişiminin gözlenebileceğini göstermiştir. Bu durum kömür harmanlama işlemlerini de daha kolay bir şekilde yapılmasını sağlayacaktır.



Şekil 8. Bilgisayar yazılımının arayüz görünümü



Şekil 9. Üretim panosundaki saatlik Ort. Alt Isıl değer değişimi

## 4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, maden sahasının herhangi bir üretim panosunun tamamının veya üretim panosunun eşit aralıklara bölünmesi ile elde edilen her bir sektörün kömür-arakesme miktarları ve öznelilik değerleri hem Netcad/Netpro-Mine hem de bu çalışmada geliştirilen madencilik yazılımları sayesinde hızlı bir şekilde elde edilip değerlendirilmiştir.

Hazırlanan bilgisayar yazılımı kullanılarak tonaj-ort. kalite parametrelerinin eğrileri çizdirilmiş olup düşük kaliteli kömür sahalarında günlük hatta saatlik üretim planlamasına müdahale olanağı sağlanmıştır.

Ayrıca farklı üretim parametreleri kullanılarak ort. ısı değerinin standart sapmasındaki değişim gözlenmiş olup en düşük standart sapma değerine ulaşılacak üretim parametrelerinin belirlenebileceği ve kömür harmanlamasına büyük fayda sağlayacağı görülmüştür.

Sonuç olarak, özellikle düşük kaliteli kömür yatakları için önemli bir sorun olan üretim ve kalite yönetimi problemlerine çözüm bulunabileceği görülmüştür. Daha sonraki yapılacak olan çalışmalarda kullanılan madencilik yazılımlarının geliştirilmesi ve otomasyonun artırılması planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Dağ, A., 1997. Döner Kepçeli Ekskavatör Açık İşletme Yönteminde Bilgisayar Destekli Üretim Planlaması: Afşin-Elbistan Linyit İşletmesi Çöllolar Sahasına Uygulanması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, 184s.
- Dağdelen, K., 2001. Open Pit Optimization-Strategies for Improving Economics of Mining Projects Through Mine Planning. 17. International Mining Congress and Exhibition of Turkey. pp 117-121.
- Dautov, K., 2012. Konya-Ilgın Çavuşçu Linyit Sahasının Bilgisayar Destekli Tasarım ve Planlaması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 79s.
- Karaöz, B., 2014. Maden Üretim Planlaması ve Çizelgelenmesi Üzerine Bir Tam Sayılı Programlama Önerisi: Kar Maden Örneği. Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü,

İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 119s.

- Krajewski, L.J. ve Ritzman, L.P., 1999. Operations management. Addison-Wesley.
- Souza M.J.F., Coelho I.M., Ribas S., Santos H.G. and Merschmann L.H.C., 2010. A Hybrid Heuristic Algorithm For The Open-Pit-Mining Operational Planning Problem. European Journal of Operational Research. 207(2), pp 1041-1051.
- Zhang, Y.D., Cheng Y.P. and Su J., 2007. Application of Goal Programming in Open Pit Planning. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. pp 41-45



# Soma Kömür Havzasında Havza Madenciliği Hakkında Bir Yaklaşım

## *An Approach to Basin Mining for Soma Coal Basin*

C.O. Aksoy

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü, İzmir*

**ÖZET** Yer altı kömür madenciliği, yapıldığı yere göre değişik sınırlamalar ve ön koşullar gerektirmektedir. Bu sınırlamalar ve ön koşullar genel olarak kömür damarının kalınlığı, eğimi, derinliği, kömür damarının gaz içeriği, yan kayaçların özellikleri, tasman mekanizması ve bunun gibi birçok unsurlara göre değişkenlik göstermektedir. Kömür damarının bu özellikleri belirlendikten sonra planlama aşamasına geçilmelidir. Son dönemde çok gündemde olan "Havza Madenciliği" olgusu ise bütün bunlardan yola çıkılarak ortaya konabilecek bir yaklaşımdır. Bu araştırmada, uzun yıllar Soma bölgesinde değişik yerlerde gerçekleştirilen çalışmalar sonrasında elde edilen tecrübelerle dayalı olarak, Soma Kömür Havzası için değişik uygulamaların değerlendirilmesine ve havza için uygun olduğu düşünülen Havza Madenciliği Modeli önerisine yer verilmiştir.

**ABSTRACT** Underground coal mining requires different restrictions and preconditions, depending on where it is made. These limitations and preconditions generally vary according to the thickness of the coal bed, the slope, the depth, the gas content of the coal bed, the characteristics of the strata rocks, the subsidence mechanism and many other factors. Once these characteristics of the coal seam have been identified, the planning stage should be started. The "Basin Mining" phenomenon, which is on the agenda in the last period, is an approach that can be put forward by going out from all these ways. In this research, it is proposed to evaluate the different applications for the Soma Coal Basin based on the experiences obtained after the studies conducted in different places in the Soma region for many years and suggested the Basin Mining Model, which is considered suitable for the basin.

### 1 GİRİŞ

Soma kömür havzası araştırmacılar tarafından uzun yıllardır çalışmaların yapıldığı bir havzadır. Bu bildiride literatürde var olan bir çok çalışmanın hepsine birden değinme imkanı yoktur. Ancak, yazar tarafından gerçekleştirilen bazı çalışmalara değinilmesinin daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Bu kapsamda, Aksoy (2002) yaptığı çalışmada, Havzanın Eynez bölgesinde emniyet topuklarının kazanılmasını

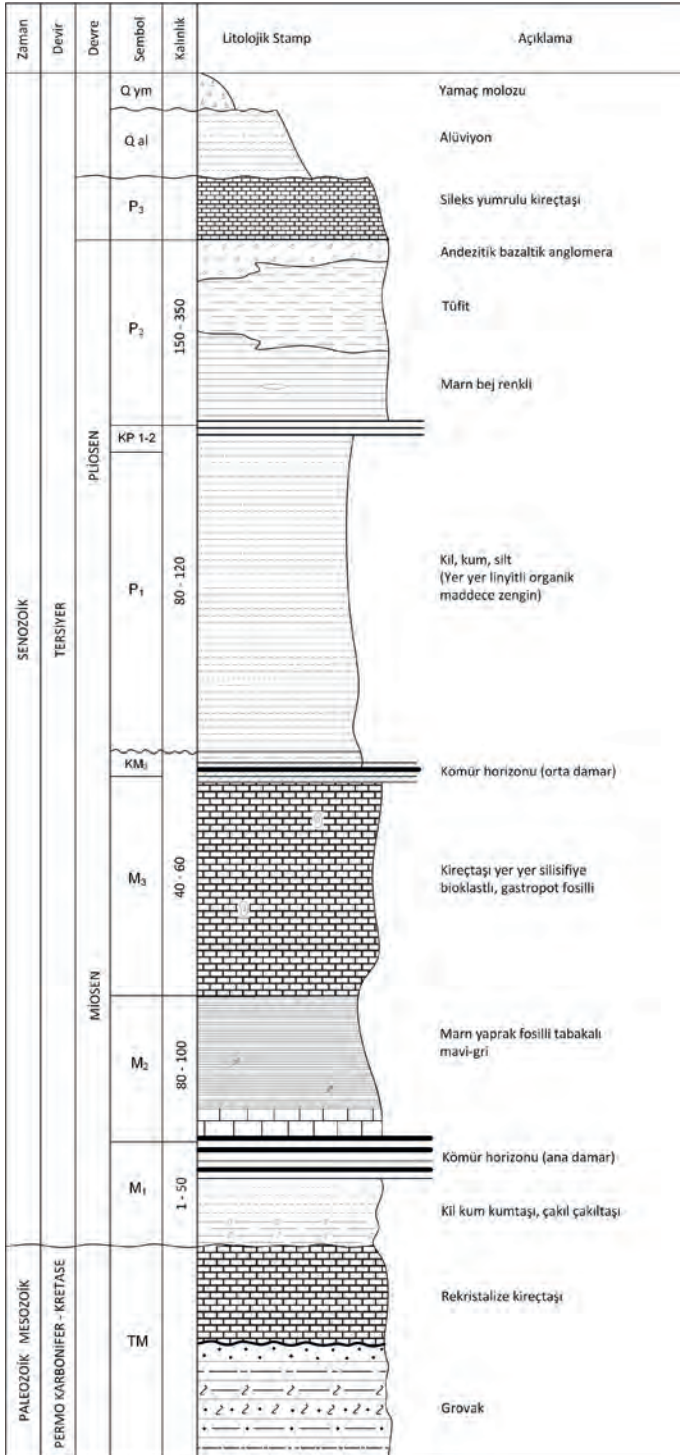
incelemiştir. Bu çalışmada, kömür kalınlığının 12-30 m aralığında olduğu belirlenmiştir. Bölgede yapılan çalışmada, ilk olarak 20 m' lik bir kömür damarının geçildiği bölgede tasman miktarının 5 m civarlarında olduğu, limit açısının 40 ve kırılma açısının 34 derece (düşeyle olan açı) olduğu saptanmıştır (Aksoy ve Köse, 2004; Aksoy, 2005a, Aksoy, 2005b). Yine bölgede yapılan bir çalışmada, topuk boyutlandırması ile ilgili ilk olarak Kırılma Açısı Etki Alanı ifadesinden bahsedilmiş ve Eynez bölgesi

için tanımlama yapılmıştır (Aksoy, 2005b). Yazar tarafından gerçekleştirilen son dönemdeki çalışmalarda ise Eynez bölgesinde topuk boyutlandırması için gerekli şartlar ortaya konmuştur (Aksoy vd., 2015). Yazarın yaptığı son çalışmalarda ise 2004'de belirlediği anlık kırılma açısının zaman içerisinde bir miktar arttığı ve uzun dönem kırılma açısının 38-40 dereceye çıktığı, bölgede uygulanan üretim yöntemi kapsamında anlık tasman miktarının 4,60 m olduğu, uzun dönemde bu miktarın 7,25 m'ye çıktığı, dolayısıyla uygulanan yöntem kapsamında tasman miktarının çeşitli faktörlere bağlı olarak kömür kalınlığının yaklaşık %20-30 civarlarında olduğu belirlenmiştir (Aksoy vd., 2016). Bütün bunların yanı sıra, Soma havzasında birçok farklı alanda çalışmalar yapılmıştır. Soma havzasında birkaç farklı üretim yöntemi kullanıldığı söylenebilir. Bunlar kömür damarı kalınlığına bağlı olarak, Geri Dönümlü-Arkadan Göçertmeli-Damar Eğiminde Dilimli Yöntem, Geri Dönümlü-Arkadan Göçertmeli ve Çok Dilimli-Geri Dönümlü-Arkadan Göçertmeli yöntem olarak sıralanabilir. Bunlardan sadece çok dilimli yöntemde ilk dilim tavan taşına kontak halde sürülür ve tavan taşının göçmesi sağlanır. Diğerlerinde ise bu uygulanmaz. Soma havzasındaki üretim için konvansiyonel üretim yöntemi, yarı-mekanize üretim yöntemi ve Tam mekanize üretim yöntemi kullanılmaktadır. Havalandırma emici yöntem ile yapılmaktadır. Ayak uzunlukları 60-180 m arasında (uygulanan yöntem ve pano şartlarına bağlı olarak) değişmektedir. Pano boyları ise 400-1000 m arasında değişmektedir. Soma havzasındaki Yer altı madenciliği genel olarak Açık işletmelerle birlikte yürütülmektedir. Diğer bir deyişle, Yer altı işletmelerinin yakınlarında TKİ-ELİ'ye ait açık işletmeler mevcuttur. Yapılan gözlemlerde, açık işletmelerde yapılan patlatmaların yeraltı işletmelerine kayda

değer bir etkisi yoktur. Soma havzası kömür damarlarının gaz içeriği ile ilgili olarak az sayıda çalışma yapılmıştır. Desorpsiyon testlerine dayanan bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre bölgede yüzeyden 400 m derinliğe kadar kömür damarlarının içerdiği gaz miktarı maksimum 0,5 m<sup>3</sup>/ton ve 600 m derinlikte ise yaklaşık 1,5 m<sup>3</sup>/ton olarak tespit edilmiştir (Fişne vd.,2015). Soma havzası kömür damarlarının kendiliğinden yanmaya yatkınlıkları, Karpuz vd., (2000) tarafından Darkale ve Eynez bölgesindeki ocaklardan alınan numuneler üzerinde tutuşma sıcaklığı ve adiyabatik oksidasyon yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Soma havzası kömürlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıkları yüksek olarak belirlenmiştir.

## 2 HAVZA JEOLJİSİ

Soma havzasının genel jeolojisi oldukça bilinen bir konu olması nedeniyle burada kısaca bahsedilecektir. Aşağıda, Şekil 1'de havzaya ait stratigrafi görülmektedir. Genel olarak Soma havzasındaki jeolojik birimler Soma Formasyonu, Çakıltaş-Kumtaş-Kil (M1), Alt linyit Horizonu (KM2), Marn (M2), Kireçtaş (M3), Orta Linyit Horizonu (KM3), Deniz Formasyonu, Kumtaş-Silttaş-Alacalı Kil Birimi (P1), Üst Linyit Horizonu (KP1), Kil-Tüf-Marn Birimi (P2ab) olarak sıralanabilir.



**Şekil 1. Soma Havzası Genelleştirilmiş Stratigrafisi (Aksoy vd., 2004)**

### 3 HAVZA MADENCİLİĞİ İÇİN YAKLAŞIM

Havza madenciliğinin gerekliliklerini ortaya koymak için bazı ana konular bulunmaktadır. Bu bölümde sırasıyla bu konulardan bahsedilecektir.

### 3.1 Havza Şartlarının Değerlendirilmesi

Soma havzası için Havza şartlarının değerlendirilmesi konusu birkaç maddede incelenebilir. Bunlar aşağıda sırasıyla bahsedilmektedir.

#### 3.1.1 Kömürün kendiliğinde yanabilirliğinin belirlenmesi

Yapılan çalışmalar ve Soma havzasındaki uzun süreli tecrübelerimiz göstermektedir ki, havzadaki kömürlerin kendiliğinde yanma kabiliyeti yüksektir. Yine gözlemlere dayalı olarak havzadaki kömürlerin kendiliğinden yanması için gereken kuluçka süre 30 gün civarlarındadır. Bu durum, önerilecek yaklaşımdaki ayak ilerleme hızları ve göçükte yangınla mücadeleyi önemli şekilde etkileyecektir.

#### 3.1.2. Kömürün Gaz İçeriğinin Belirlenmesi

Sahada yapılan proje çalışmalarında öncelikle kömürün gaz içeriği incelenmelidir. Şu açıktır ki, havzada kömür yatağı derinleştikçe gaz içeriği de artmaktadır. Şu an itibariyle havzadaki gaz içeriği yüzeyden 400 m derinliğe kadar kömür damarlarının içerdiği gaz miktarı maksimum 0,5 m<sup>3</sup>/ton ve 600 m derinlikte ise yaklaşık 1,5 m<sup>3</sup>/ton olarak tespit edilmiştir (Fişne vd.,2015). Bu durum, hem pano boyu, hem ayak boyu, hem de eski üretimlerin bakımı için önem arz etmektedir.

#### 3.1.3. Havzanın Kaya Mekanikliği Açısından Değerlendirilmesi

Havzada yapılan bilimsel çalışmalar ve proje çalışmaları sonucu, geniş bir kaya kütlesi perspektifine sahip bir havza ile karşı karşıya kaldığımız açıktır. Her bir kaya biriminin kendisine ait deformasyon davranışı ve dayanım davranışı bulunmaktadır. Bunların ayrı ayrı incelenmesi yapılmış elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir. Bu durum, üretim yöntemi seçimi, tam mekanize ve yarı-mekanize sistemlerde ayak tahkimatı boyutlandırması, galeri tahkimat boyutlandırması, tasman mekanizması, eski üretim bölgeleri ve emniyet topuklarının boyutlandırması gibi birçok parametreyi etkilemektedir. Diğer bir konu ise, havzada bulunan kil içerikli kayalarda açılan açıklıkların uzun süre aynı geometride

tutulmasıdır. Şu an uygulanan yöntemler çerçevesinde henüz bu konuda çok başarılı olduğu söylenemez. Tarafımızca 2006 yılında önerilen kaya saplama uygulamaları henüz yeni yeni uygulamaya başlanmıştır. Ancak, burada yapılan en önemli yanlış, açılmış bir açıklık üzerinde bu çalışmaların yapılmasıdır. Oysaki kaya saplama'nın tam anlamıyla aktif tahkimat görevi görebilmesi için, açıklık açılırken eş zamanlı uygulama yapılmasıdır.

### 3.1.4. Ocak havalandırma şartlarının değerlendirilmesi

**Çizelge 1. Havzadaki Kaya Birimlerine ait veriler**

Formation	Elastisite Modülü (E <sub>i</sub> ) (MPa)	Elastisite Modülü (E <sub>k</sub> ) (MPa)	Poisson Oranı (ν)	Yoğunluk (d) (kg/m <sup>3</sup> )	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (σ <sub>i</sub> ) (MPa)	GSI	mi	mb	s	a	Örselenme Faktörü (D)	Kohezyon (c) MPa	İşsel Sürtünme Açısı (φ) (°)
Marın (P2AB)	3000	84,67	0,30	1900	15	30	4	0,027	0,8e-6	0,522	1	0,124	5,14
Kıraçtaşı (P2)	23 000	492,5,23	0,24	2 650	65	70	10	1,173	0,0067	0,501	1	3,50	27,47
Şeyl ve Kilitaşı (P1)	5 000	605,12	0,33	1900	40	50	4	0,23	0,0013	0,503	1	1,022	15,90
Kömür (KM3)	1500	42,34	0,35	1700	13	30	10	0,067	0,857e-6	0,522	1	0,163	9,32
Marın (IM3)	14 000	1705,55	0,27	2 100	30	50	7	0,402	0,0013	0,503	1	0,521	19,53
Marın (IM2)	10 000	898,26	0,30	1950	25	55	6	0,241	0,0006	0,504	1	0,619	16,24
Kömür (KM2)	2 000	223,50	0,33	1 650	23,7	40	10	0,138	0,000045	0,511	1	0,436	12,94
Marın (IM1)	15 000	1635,93	0,25	2 200	27	55	5	0,41	0,0029	0,502	1	0,885	19,58

Ocak havalandırması aslında kömürün kendiliğinden yanma özelliği, gaz içeriği ve

yangınla mücadele gibi konular başta olmak üzere birçok konuyu kapsamaktadır. Ancak, az d a olsa kömür damarı gazlı sınıfta olduğu için emici havalandırma kullanılmalıdır. Havalandırma, ocağa en az iki ayrı galeriden temiz hava sağlayacak ve bir de kirlenmiş havayı ocak içinden dışına tahliye edecek nefeslik olarak tabir edilen galerilerden oluşmalıdır.

### 3.1.5. Güvenli Kömür Madenciliği koşullarında gerekli üretim ölçeğinin belirlenmesi

Kömür madenciliğinin güvenli yapılabilmesi için Devlet İşletmeleri ya da Özel Şirketler belirli yatırımları yapmalı, çalışanlarını eğitmeli ve havza madenciliğine özgü madencilik kültürünü geliştirmelidir. Bu kapsamda ülke çıkarları ve stratejik durumlar da düşünülerek bir üretim ölçeği belirlenmelidir. İlerideki bölümlerde bahsedileceği üzere, bu üretim ölçeği rezerv ile yakından bağlantılıdır. Rezerv ise enerji arzı ile ilintilidir.

### 3.1.6. Üretim Yöntemlerinin İncelenmesi

Havzada belirlenen bölgede damar şartları etüt edilerek yukarıda belirtilen üretim yöntemlerinden birisi veya bir kaçını aynı ocak içerisinde uygulanabilir. Bu durum, enerji arzı ile de ilintilidir.

## 3.2. GÜVENLİ KÖMÜR MADENCİLİĞİ AÇISINDAN GEREKLİ REZERVİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu kapsamda belki de en önemli unsur rezerv miktarıdır. Bu durum, hem enerjide dışa bağımlı ülkemizin enerji arzına hem de İSG yönünden gerekli yatırımların yapılmasına ve gerekli kültürün oluşmasına izin verebilir ölçüde olmalıdır. Bu konudaki ana başlıklar aşağıda incelenmiştir.

### 3.2.1. Havzanın Jeolojik, Jeoteknik, Hidrojeolojik ve Tektonik Açısından Güvenli Kömür Madenciliği Yapılabilmesi için Gerekli Rezerv Miktarının Değerlendirilmesi

Bu konu Güvenli kömür madenciliği yapabilmek adına hem rezerv miktarını etkilerken, diğer yandan da gerekli yatırımların eksiksiz yerine getirilmesi için gerekli rezerv miktarına işaret etmektedir. Ek olarak, bu konu sahanın doğal şartları çerçevesinde doğanın tanıdığı imkanlar dahilinde teknik açıdan işletilebilir rezerv miktarını da ifade etmektedir.

### 3.2.2. İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Havza Madenciliği için Gerekli Rezerv Miktarının Belirlenmesi

Her konudan ödün verilebilir ancak İSG'den asla ödün verilemez. İSG ekipmaları, eğitimi vb. konularda, bir tek çalışanın burnunun dahi kanamayacağı yatırımların yapılmasına olanak tanıyacak rezerv miktarının ortaya konması havza madenciliğinin olmazsa olmazıdır.

### 3.2.3. Ekonomik açıdan havza madenciliği için gerekli rezerv miktarının belirlenmesi

Madencilik aslında doğal kaynakların kazanımına yönelik bir endüstridir. Bu nedenle, sadece işleten firmalar ya da devlet değil, ülkenin her bir vatandaşının fayda sağlaması gereken bir endüstri olduğu da unutulmamalıdır. Sadece madenin üretildiği bölgedeki insanlar değil, bölgeye çok uzak lokasyonlardaki vatandaşlarda bu doğal kaynaklardan en maksimum ölçüde katma değer anlamında yararlanmalıdır. Ancak, hiçbir faaliyet sonsuza kadar devlet tarafından hiçbir karşılık belemeden fonlanamaz. Bu nedenle, yukarıda bahsedilen bütün yatırımlara imkan sağlayacak, madencilik kültürü oluşturacak, İSG'yi en önde tutmaya izin verecek rezerv miktarı belirlenmelidir.

### 3.2.4. Ülke Ekonomisi Açısından Havza Madenciliği için Gerekli Rezerv Miktarının Belirlenmesi

Madencilik sektörü tehlikeli iş sınıfında da olsa yapıldığı bölgeye önemli istihdam kapısı açmaktadır. Sadece madende çalışanlar değil, aileleri ve civar işletmelere de dolaylı katma değer sağlamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, ülke ekonomisine önemli fayda sağlayan bir endüstridir. Bu katkının maksimum oranda olması için bir rezerv miktarı değerlendirilmelidir. Bunun yanında, ülkemiz enerjide dışa bağımlıdır. Ülke kaynaklarının işletilerek ülke ekonomisine katkı koyması cari açığın kapatılması konusunda oldukça önemlidir.

### 3.2.5. Güvenli Kömür Madenciliği için Yerli Teknoloji Üretilmesi Amacıyla Rezerv Değerlendirmesi

Ülkemiz maalesef madencilik teknolojileri konusunda dışa bağımlıdır. Madencilikte ileri ülkeler kendi teknolojilerini geliştirmiş ve bizim gibi gelişmekte olan ülkelere

pazarlamaktadırlar. Bu açıdan bakıldığında kendi madencilik teknolojilerimizi geliştirmek zorunda olduğumuz açıktır. Bu ise bugünden yarına olacak bir şey değildir. Uzun bir süreç ve bu sürecin takibi ile bu teknolojilerin geliştirilmesi için bazı yatırımların yapılması gerekmektedir. Bu gereklilikleri karşılayacak uygun rezerv miktarının belirlenmesi yerinde olacaktır.

### 3.3. GÜVENLİ KÖMÜR MADENCİLİĞİ İÇİN HAVZA MADENCİLİĞİ MODELİNİN ORTAYA KONMASI

Havza madenciliği aslında basit anlamda bakıldığında, güvenli kömür üretimi için ortaya konacak bir model gibi gözükmemektedir. Geniş anlamda bakıldığında ise yukarıda bahsedilen, ancak belki de bahsedilmesi unutulmuş olan birçok parametrenin bir araya getirilerek çözümlenmesi sonucu ortaya çıkacak basit, kuralları belli, çözümleri önceden belirlenmiş sorunlardan oluşan, mühendisler tarafından yönlendirilebilen bir model olarak karşımıza çıkmaktadır. Her bir havzada madencilğe başlamadan önce mutlak suretle havza modelinin enine boyuna tartışılarak ortaya konması gerekmektedir)

### 4. SOMA HAVZASI İÇİN HAVZA MADENCİLİĞİ ÖNERİSİ

Soma havzası için tarafımızca önerilen üretim yöntemi çok dilimli-geri dönümlü-arkadan göçertmeli uzun ayak yöntemidir. Bu yöntem yarı-mekanize veya tam mekanize olarak ya da her ikisinin birleşiminden oluşabilir. Buna lokasyonun şartları değerlendirilmek kaydıyla karar verilmelidir.

Soma havzasındaki kömür damarı 0-30 derece eğime sahiptir. Bu durum, şu anlama gelmektedir. Farklı lokasyonlarda farklı eğimlerde uzun ayaklarla üretim gerçekleştirmek gerekmektedir. Ancak, her farklı eğim için farklı teçhizat yatırımı yapmak oldukça maliyetlidir. Seçilecek ekipman 30 derece eğime kadar rahatlıkla üretim yapabilecek şekilde olmalıdır. Bunun dünyada örnekleri mevcuttur. Ülkemiz mühendisleri ise bu soruna çözüm üretecek bilgi ve tecrübeye sahiptir.

Panolar, kömür kalınlığı, doğal şartlar ve kömür damarının eğiminin değiştiği durumlara göre dizayn edilmeli, pano boyları imkanlar çerçevesinde 1000 m civarında tutulmalıdır. Ancak doğal şartlar izin vermiyorsa bir miktar daha kısa olabilir.

Ayak boyları, göçertmeli uzun ayakla üretim gerçekleştirileceği için göçük içinde kalan kömürün yanmasını engelleyecek üretim miktarına izin verir ölçüde olmalıdır. Uzun zamandır yapılan gözlemlerde bir uzun ayağın bir ay içerisinde en az 40 m ilerleme yapması gerekliliği görülmüştür. Aksi durumda yangınla karşılaşılması kuvvetle muhtemel olmaktadır. Yine gözlemlerimize göre tam mekanize üretim yapılan ayaklarda, ayak uzunluğunun 150 m'yi aşmaması gerektiği görüşü hasıl olmuştur.

Ayak tahkimat ekipmanı olarak mümkün olduğunca hafif kalkan tipi tahkimat ya da yarı-mekanize hidrolik tahkimatının seçilmesi uygun görülmektedir. Zira havzadaki kömürün ve altındaki kilin dayanımının düşük olması ve kili n kabarma katsayısının çok yüksek olması nedeniyle hızlı üretime izin vermesi ve kolay manevra yapabilmesi gerektiği düşünülmektedir. Ayak tahkimatı pencereci ya da arkadan konveyörlü olabilir. Kömür kaybını ve yangın riskini azaltmak için arkadan konveyörlü sistemin tercih edilmesi daha doğru olacaktır.

Ayaklarda kazı mümkün olduğunca mekanik kazıcılarla (kesici-yükleyici, yeni nesil saban) yapılmalıdır. Bunun en önemli nedeni az da olsa kömürün gaz içeriyor olmasıdır.

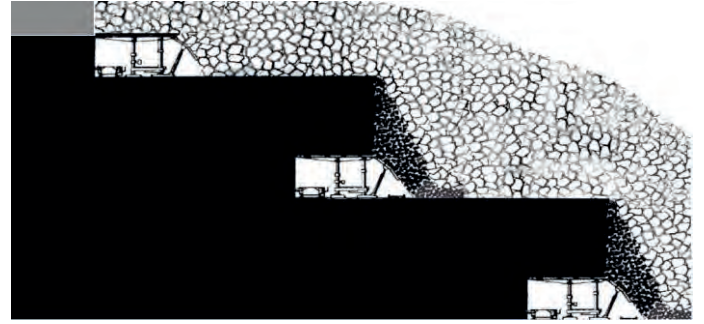
Kendiliğinden yanma ile mücadele çok önemlidir. Havzada , bu konuda kendine özgü bir yöntem geliştirilmiştir. Kül enjeksiyonu ile yangınla mücadele edilmektedir. Etkili uygulandığında önemli katkılar sağlamaktadır. Aynı zamanda, göçük malzemesini bir süre sonra oldukça dayanımlı hale getirmektedir. Bu durum, tasman miktarının azalmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan, göçük bölgesinde bir mesnet oluşturduğu için ayak üzerine gelen baskıların azalmasına olanak sağlamaktadır.

Havalandırma alt yapısı en az iki farklı temiz hava girişi ve bir kirli hava çıkış galerisi içermelidir. Havalandırma yöntemi olarak emici tip havalandırma uygulanmalıdır.

Geniş bir kaya kütlesi perspektifine sahip olan Soma havzasında, bazı kaya birimlerinde açılan açıklıkları uzun süre ayakta tutmak oldukça zordur. Bu nedenle, önemli bir tarama maliyeti ve bunun için önemli bir zaman kaybı söz konusu olmaktadır. Bunun mümkün olduğunca önüne geçebilmek adına az ancak güvenli hazırlık işleri yaparak imkanlar dahilinde çok ayakta üretim sağlamak gerekmektedir.

Tecrübelerimiz çok dilimli yöntemde, kazı aynası haricinde dilim yüksekliğinin 8-10 m civarında olması gerektiğini göstermektedir. Daha fazla dilim yüksekliği hem göçme problemlerine hem de göçük içinde fazla kömür bırakma ve dolayısıyla yangın riskinin artmasına sebebiyet vermektedir. Ocak planlanırken, göbekten kenarlara prensibine ve sığdan derine prensibine dikkat etmek gerekmektedir. Uygun durumlarda karşılıklı panolarda üretim gerçekleştirilebilir. Ancak, bu durumda emniyet topuklarının iyi boyutlandırılması gerekmektedir.

Burada bahsedilen ve bahsedilmesi unutulmuş olan bütün parametreler düşünüldüğünde tarafımızca Soma Havzası için önerilen üretim yönteminin basit şekli aşağıda Şekil 2, 3 ve 4'de verilmektedir.



Şekil 2. Soma için önerilen üretim yönteminin yandan görünüşü



Şekil 3. Soma için önerilen üretim yönteminin kesit görünüşü



Şekil 4. Soma için önerilen üretim yönteminin plan görünüşü

Şekil 2 ve 3’de görüldüğü üzere üretim katlardan oluşmaktadır. Tavan ayaktaki üretim tavan taşına teğet ilerlemekte, 2. Kat ve taban ayaklardaki üretimde ise kömür hem aynadan kesilerek hem de yukarıdan göçertilmek suretiyle üretilmektedir. Şekil 4’de ise katların plan görünüşü verilmektedir. Katlar aşağıya doğru indikçe ayak uzunlukları bir miktar artmaktadır.

## 5. SONUÇ

Soma havzası madencilik açısından çok çalışılmış bir havzadır. Havzadaki madencilik şartları kaba olarak ortaya konmuştur. Maden mühendislerine ait görev ise bu şartlar çerçevesinde, çalışılan bölgeye ait elbiseyi dikmektir. Ancak, unutulmaması gereken konu madencilik asla “bize bir şey olmaz” yaklaşımını kabul etmeyecek olan bir sektördür.

Yukarıdaki bilgiler ışığında, Soma Havzasında Çok Dilimli-Geri Dönümlü-Arkadan Göçertmeli üretim yönteminin, havza şartlarında uygulanması gereken bir yöntem olduğu düşünülmektedir. Bu yöntemde düşük eğimli damar yapısında olduğu gibi 30 derece gibi yüksek eğimlerde de çalışılabilir. Tarafımızca önerilen yöntem hem düşük hem de yüksek eğime sahip damarlı bölgeler için geçerlidir. Ancak, bu yöntemi uygularken, yöntemin gereklilikleri de uygulanmalıdır. İSG anlamında en önemli unsur, havzadaki çalışanların eğitim seviyelerini yükseltmek ve Güvenli Madencilik Kuralları çerçevesinde bir kültür oluşturmaktır.

Günümüz koşullarında, özel firmalarca üretilen rezervlerin Güvenli Madencilik koşullarını sağlamaktan uzak olduğunu söylemek gerekir. Yukarıda bahsedilenler çerçevesinde, bir yeraltı kömür ocağında yılda 8-10 mt kömür çıkartmak ve bir kömür madenin ömrünün en az 20 yıl olacak şekilde rezervlendirmek en doğru yol olacaktır. Bu durum devlet işletmesi ya da özel işletme diye ayrılamaz. Madencilik her kim tarafından yapılıyorsa yapılsın sonuçta yapılan işlem madenciliktir. Bu açıdan bakıldığında, havza madenciliği şartları altında bir madenin Güvenli Madencilik Şartları’nda üretim yapabilmesi için yeterli rezervin olması ve planlamaların uzun dönem için bütün kriterleri içerecek şekilde yapılması gerekmektedir.

Aslına bakıldığında, ülkemiz madencilik mevzuatı çok sıkıdır. Yabancı ülkelerle kıyaslandığında daha fazla sınırlayıcı maddeler içermektedir. O zaman neden yabancı ülkelerde yaşanan kazalarda çok

ölümlü kazalar yaşanmıyor da ülkemizde yaşanıyor sorusunun cevabı da, Güvenli Yeraltı Kömür Madenciliği için Havza Madenciliği şartlarının ortaya konmasından geçmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada esnasında bilgi birikimi sağlamama yardımcı olan Soma Havzasındaki ELİ Personeline, bütün özel sektör kuruluşlarına teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- Aksoy, C.O. 2002, Numerical modelling for the recovery of protecting pillars in Soma district, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, s:125
- Aksoy, C.O. 2005a, Three-dimensional finite element analysis of an undermined shaft at the Hustas mine, Turkey, CIM Bulletin, September/October-2005 s1-8.
- Aksoy, C.O. 2005b, Three-Dimensional Finite Element Analysis of an Underground Shaft at the Hustas Mine, Turkey. CIM Bulletin, 98(1089), 1-8.
- Aksoy, C.O. Küçük, K. Uyar, G.G., 2015, Safety Pillar Design for Main Galleries in Multi-Slice Longwall Top Coal Caving Method. International Journal of Oil, Gas and Coal Technology, 9(3), 329-347.
- Aksoy, C.O. Küçük, K. Uyar, G.G., 2016, Long-term time-dependent consolidation analysis by numerical modelling to determine subsidence effect area induced by longwall top coal caving method.
- Aksoy, C.O. ve Köse, H. 2004, Laminated Displacement Discontinuity Analyses for Estimating Stresses, Strain, Convergence and Subsidence during the Recovery of Safety Pillar at Soma Coal Field-Western Turkey. CIM 2004 Mining Industry Conference & Exhibition, KANADA, (Tam metin bildiri).
- Aksoy, C.O. Köse, H. Onargan, T. Koca, M.Y. Heasley, K., 2004, Estimation of Limit Angle by Laminated Displacement Discontinuity Analyses in Soma Coal Field, Western Turkey. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 41(4), 6, 547-556.
- Fişne, A., Özer, S.C., Esen, O., Üğdul, İ.G., 2015. İmbat Madencilik A.Ş. Soma—Eynez Yeraltı Kömür İşletmesi Kömür Damarlarının Gaz İçeriği ve Gaz Bileşiminin Araştırılması, İTÜ Teknokent Ar-Ge Projesi
- Karpuz, C. Güyagüler, T. Bağcı, S. Bozdağ, T. Başarır, H. Keskin, S. 2000, Linyitlerin

Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlık Derecelerinin  
Tespiti: Bölüm 2-TKİ Yeraltı Ocakları Sonuçları  
Şekil 2. International Journal of Oil Gas and Coal  
Technology, 12(1), 18-37.



# Maden İşletme Planlamasında Yeni Bir Yaklaşım: Optimum Geçiş Derinliği

## *A New Approach In Mining Planning: Optimum Transition Depth*

T. Mallı, M. Kun

*Dokuz Eylül Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir*

**ÖZET** Küresel ekonomik büyümedeki yavaşlama madencilik sektörünü de olumsuz yönde etkilemekte artan maliyetler rekabet gücünü zayıflatmaktadır. Bununla birlikte kompleks madencilik koşullarının yarattığı zorluklar ve yatırımlar ek maliyetler oluşturarak üretim maliyetlerini arttırmaktadır. Açık maden işletmeleri, yükselen örtü kazı oranı ile artan maliyetlerin etkisindedir. Buna karşın derinleşen yeraltı işletmelerinde yapılması gereken ana hazırlık çalışmalarının getirdiği maliyetlere cevherin taşıma maliyetleri de eklendiğinde üretim maliyetleri oldukça artmaktadır. Bu handicap, ancak teknik ve ekonomik açıdan ideal planlama ve optimizasyonla aşılabilir. Bu nedenle, maden işletmesinden elde edilmesi beklenen maksimum Net Bugünkü Değeri (NBD) sağlayacak optimum geçiş derinliğinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, optimum geçiş derinliği yaklaşımına dayalı planlanma ile maden işletmelerinden daha yüksek ekonomik değerler sağlanabileceği öngörülmektedir. Böylelikle maden rezervlerinin daha rasyonel ve reel değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

**ABSTRACT** Recession in the global economic growth also affects the mining industry in negative, while the rising costs competitive power. However, mining difficulties and investments created by complex conditions brings about additional costs and increase the production cost. Open pit mine operations are influenced by rising stripping ratio and costs. On the other hand, main developments are also increasing the investments in deepening underground mine. In addition, when the cost of ore transport are added, the production costs are increasing considerably. This handicap can only be overcome with technical and economical ideal planning and optimization. For this reason, it is necessary to determine the optimum transition depth to achieve the maximum Net Present Value (NPV) expected from the mining operation.

In this study, it can be seen that higher economic values can be achieved by planning based on optimum transition depth approach than mining enterprises. Thus, it is foresighted that the mine reserves can be evaluated in a more real and rational.

## 1 GİRİŞ

Maden rezervlerinin yenilenemez oluşu, ekonomik ve verimli şekilde değerlendirilip, ülke ekonomisine daha yüksek oranda katma değer kazandırılmasını gerekli kılmaktadır.

Diğer yandan artan üretim maliyetlerine karşın zorlaşan rekabet ortamı da minimum maliyetlerle üretimini gerektirmektedir. Dolayısıyla yüksek sermaye gerektiren riskli madencilik yatırımları ve operasyonlarının

ideal planlanması, işletme rantabilitesi açısından önemlidir.

Maden sahalarının, kendine özgü dinamikleri, işletme koşulları ve risk değişkenlerinin belirsizliği planlamayı daha komplike hale getirirken önemini de kritikleştirip arttırmaktadır. Genel olarak madencilik problemlerinin çözümü, ideal işletme planlaması ile Net bugünkü değer olabildiğince yükseltilmesi ve optimizasyona dayalı olmaktadır (Mallı,2013). Planlamanın temel amacı; genellikle farklı üretim kapasitesi, karışım modeli, zaman-iş termini ve farklı işletme parametrelerinde en yüksek NBD'yi sağlayan optimum değer belirlenmesidir (Dağdelen 2001).

Planlama; tahminleme, ekonomik veriler ve karar verme gibi faktörlere bağlıdır ve bunların değişimlerinden etkilenir. Planlama çalışmalarında ilk aşama; projenin ortaya konulmasıdır. Burada maden işletmesi derinlik, örtü kazı oranı, cevher tenörü, cevher satış fiyatı, mesafe gibi faktörlere göre tasarlanmaktadır. Stratejik planlama safhasında ise uzun dönem maden planlaması ve makine-ekipman seçimi yapılmaktadır. Geliştirme aşamasında ise planlama; yıllık, aylık ve günlük planlar ile detaylandırılmaktadır (Runge, 1998). Detaylı ve gerçekçi bir işletme planlanması, üretim sıralamasıyla birlikte terminin yapılması ve paranın zaman değeriyle değerlendirilmesini öngörebilmektir.

Maden işletme planlaması ve tasarımı daha çok rezervin net bugünkü değerinden oldukça etkilenmekte ve bu değer yükseltilebilmesi, işletmeyi etkileyen jeoteknik parametrelerdeki değişimlerin yada cevher satış fiyatlarındaki değişim ve tahminin hızla güncellenmesi veya güncellenmiş rezervin yeniden işletme dizaynı uygulanarak yorumlanabilmesine bağlıdır (Baffoe ve Al-Hassan, 2005).

Maden işletmelerinin spesifik koşullarına uygun planlanması bu açıdan önemlidir. Planlamalarda, maden sahası bazen tamamen bir açık işletme yada yeraltı işletmesi olarak tasarlanmaktadır. Ancak ideal olan, NBD'yi maksimum yapan işletme ömrü ve optimum derinlikte işletmenin tasarımıdır. Bu geçiş derinliğinden sonra açık işletme ve yeraltı

işletmelerinin değerini optimize eden modelin değerlendirilmesidir. En yüksek kar elde edebilmek için bu sınırın tespit edilmesi, mühendislik ve işletmecilik açısından önemlidir.

Madencilikte çözüm bekleyen bazı problemler, birbiriyle grift, bağımlı ve karlılığı direkt etkilediği için bunların optimizasyonu üzerinde yoğunlaşmaktadır. Özellikle, işletilebilir maden rezervinden elde edilecek ekonomik değer yükseltilmesine amaçlayan ideal işletme modeli gelmektedir. Bundan ötürü, maksimum NBD'in türetildiği optimum geçiş derinliğinin saptanması gerekmektedir.

## 2 MADEN İŞLETME PLANLAMASI

Dünya maden üretiminin büyük bölümü açık işletme yöntemiyle derinleşerek devam etmektedir. Açık işletme ve yeraltı üretim yöntemleri maden yataklanmasının geometri ve pozisyonuna bağlı olarak açık işletme ve daha sonra yeraltı işletmesi olarak seçilebilmektedir (Camus,1992).

Açık işletme ve yeraltı işletmesi için göz önünde bulundurulması gereken faktörler; maden yatağının şekli, boyutları ve derinliği, yan kayacın kaya mekaniksel şartları, üretim kapasitesi ve makina-ekipman seçimi, sermaye ve finansman durumu, işletme giderleri, faiz oranı, yatırım, amortisman, cevher kazanımı, gelir ve satış, işyeri güvenliği ve çevresel etki gibi faktörlerdir (Hartman,1992;Nilsson,1997).

Maden işletme planlarında cevher rezervini ekonomik ömür süresinde karı ve nakit akışını maksimize edecek üretim sırasının belirlenmesinin temel amaç olduğu, optimum planın bulunmasında üretim zamanı ile işletme sınırları ve madencilik operasyonlarında karşılaşılan fiziksel ve teknik sınırlamaların birbiriyle etkileşimde olduğu, fiziksel sınırlamaların kayaç veya zeminin olanak vereceği işletme sevi ve kazı hızına bağlı olarak kazı maliyetlerini belirlediği, teknik sınırlamaların ise makine-ekipman seçimi, boyut ve sayıları, üretim-nakliye kapasiteleri, işletme maliyetleri ve ayrıca cevher üretim sıralamasını içermekte olduğu belirtilmektedir (Koenigsberg, 1982).

Açık işletme planlamasında gözönünde bulundurulması gereken faktörler, cevher ve yan kayaçların özellikleri ile çevre koşullarını yansıtmalıdır. Planlama, cevherleşme ve yataklanma farklılıklarından dolayı metal ve kömür madenlerinde çeşitlilik göstermektedir. Parametreler genel olarak; jeoloji, jeoteknik ve hidrojeolojik koşullar, rezerv yayılımı, topoğrafya, makine-ekipman, ekonomik faktörler ve maliyet, yatırım tutarı, kar miktarı, cevher

çeşidi, ocak genel şev ve basamak şev açıları, basamak yüksekliği, yol eğimleri, cevher zenginleştirme ve satış-pazarlamadır (Köse vd, 2001).

Yeraltı planlamasında fiziksel ve jeoteknik parametreler, işletme üretim kapasitesi, üretimde zaman-termin etkisi, spesifik planlama ve gider parametreleri gözönünde bulundurulmalıdır (Stebbins ve Schumacher, 2001).

Çizelge 1. Optimizasyon algoritmaları (Shahriar, 2007)

Optimizasyon Algoritmaları			
Açık işletme		Kapalı işletme	
Kesin	Sezgisel	Kesin	Sezgisel
Dinamik	Hareketli Koni	Dinamik	Hareketli Üretim
Graf Teorisi	Ağ-Şebekesi	Programlama	Yeri Algoritması
Parametrik Analiz	Lineer	Branch-bound	Maksimum
Stokastik proses	Korobov algoritması	Olası Üretim Yeri	Değer
	Genetik		Komşuluğu
	Yapay Zeka		

Optimum nihai işletme sınırının belirlenebilmesine yönelik optimizasyon algoritmaları kesin ve sezgisel(heuristik) teknikler olarak geliştirilmiştir(Çizelge 1). Kesin yöntemler, dinamik programlama, graf tekniği, parametrik analiz, stokastik procestir. Dinamik programlama, optimum final açık işletme limiti, blokların kar maksimizasyonu ile şev stabilitesi ve ideal makina seçim uyum gibi pratik sınırlamaların kombinasyonu olarak değerlendirilmektedir. Whittle(1988), ekonomik parametreler ilave ederek metal fiyatının maden işletme giderlerine oranı parametresini yazılım programına adapte etmiştir.

İfade edilen bütün bu teknikler, blok kavramına dayanmakta olup işletme sistemindeki üretim işlemini ifade etmektedir. Blok yüksekliği, genellikle işletme basamaklarının yüksekliğine eşit alınmakta olup diğer boyutları ise yatağın jeolojik yapısı, verilerin duyarlılığı, uygulanacak işletme yöntemi, ekipman seçimi, planlama şekli ve işletme eğimlerine bağlıdır.

Nihai işletme sınırlarının karar kriteri olarak, kara geçiş noktasındaki dekapaj oranı kullanılmaktadır. Son yıllarda ise maksimum kar gibi ekonomik kriterler kullanılmaktadır. Zira ekonomik faktörler, dekapaj oranı veya limit tenör gibi kriterlere nazaran daha dinamik karar kriterleridir. Mineralize blok verileri her blok için maliyet, gelir, kar gibi ekonomik değerler belirlenerek ekonomik blok model oluşturularak çözümlene tekniklerine uygun hale getirilir.

Blokların istenilen yön ve değişik seviyelerde farklı formasyonlardaki şev açısı değişiminin sağlanması ve üretim esnasında karşılaşılabilecek formasyon zorluklarının kazı maliyetini artırma yönünde programa yansıtılması gerektiği de belirtilmektedir (Onur, 1995).

Mühendislik çalışma ve deneyimleri, üç boyutlu dinamik programlamanın diğer tekniklerle elde edilen toplam işletilebilir rezerv ve nihai optimum işletme sınırlarına göre daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edildiğini ve pratikte yaygın kullanıldığını göstermektedir. Son yıllarda, genellikle açık işletme sınır optimizasyonunda Lerchs-Grosman(1965) algoritmasına dayalı ve

yıllık bazda en iyi planlama ve üretim termininin, Whittle 4-X yazılım programı kullanılarak belirli bir işletme ömrü ve sabit bir indigenme oranında türetildiği belirtilmektedir (H.Askari-Nasab, vd., 2008). Dinamik programlama tekniklerinin daha ileri aşamalarında, ayrıntılı ve tüm kısıtları dahil edebilmek amacıyla daha karmaşık modellere başvurulmakta yada iki veya daha fazla teknik kullanarak çoklu bir yaklaşım düşünülmektedir.

### 3 OPTİMUM GEÇİŞ DERİNLİĞİ

Birçok maden açık işletme madenciliği ile üretime başlamakta ancak belirli bir noktadan sonra üretimin yeraltı işletmesine dönüşüne karar verilmektedir. İşletme ekonomisi dikkate alındığında bu değişim noktasına geçiş derinliği adı verilmektedir. Şili Chuquicamata bakır işletmesinde, açık işletmeden yeraltına geçiş derinliğini 1100 m olarak tasarlanmış ve açık işletmede üretimin sonlandırılması planlanmıştır (Flores, 2004). Konik açık işletme tasarımı ve 50° genel şev açısında; nihai işletme derinliğinin 250 ft olması durumunda kaldırılan kütle bir milyon ton iken işletme derinliği 500 ft olması durumunda kaldırılacak kütlenin yaklaşık 10 milyon tona ve işletme derinliğinin 1000 ft olması durumunda kaldırılması gereken kütlenin 100 milyon tona ulaştığı belirtilmektedir (Hustrulid ve Kuchta,1995). Bu derinlik, işletme ekonomisini tamamen değiştirmektedir.

İşletme derinliğine bağlı kümülatif toplam değerler, bu derinliği tayin etmekte ve optimum değeri sağlayan durum açık işletme nihai derinliğini belirlemektedir (Nilsson, 1997). Grafikselsel olarak pozitif alanlar açık işletmenin karlı bölgelerini negatif alanlar ise açık işletmenin karlı olmadığı yeraltı işletmesi için uygun olabilecek derinlikleri tanımlamaktadır. Bakhtavar(2009), yaptığı model çalışmada, açık işletmeden yeraltı işletmesine optimal geçiş derinliğini toplam kar ve NBD maksimizasyonuna göre belirlemiştir. Açık ve yeraltı işletme karları ve bunların kombinasyonu ile ortaya çıkacak değerler bulunarak maksimum karı sağlayan

madencilik opsiyonu, optimal geçiş derinliğinde sağlanmaktadır. Maden işletme alternatifleri için elde edilen kar ve bunların indirgenme faktörüyle dönüşümü sonucu ulaşılan net bugünkü değerleri ile yapılan model çalışma, daha anlamlı ve gerçekçi olmaktadır. Maden işletmesinde örtü kazı oranı, genel şev açısı, sınır tenör değeri ve üretim kapasitesi bu derinliğin belirlenmesi için önemli parametrelerdir(Şekil 1).



Şekil 1. Açık işletmeden yeraltı işletme modeline optimal geçiş derinliği (Hartman, 2002)

*Örtü-Kazı Oranı;* Cevherin yerüstü açık işletme yöntemi ile üretilmesini belirleyen en önemli faktör olup işletmede belirli bir derinliğe kadar yapılan olan örtü-kazısı hacminin, üretilecek toplam cevher tonajına oranına genel örtü kazı oranı olarak tanımlanmaktadır. Chen (2003), izin verilebilir örtü-kazı oranı yaklaşımını geliştirerek açık işletme içinde kalan cevher ve dekapaj hacimleri derinlik sabitine bağlı bir fonksiyon olarak tanımlamıştır. Ayrıca ekonomik değerlendirmeler için ekonomik sınır örtü-kazı oranı; birim yerüstü cevher üretim maliyetinin, birim cevher yeraltı üretim maliyetine eşit olduğu sınırdaki enstantane örtü-kazı oranıdır. Bu orana etki eden en önemli faktörler; maden yatağının şekli, genel şev açısı, yatağın eğimi ve topoğrafya olarak sıralanmaktadır. Örtü-kazı oranları, eğimli cevher yataklarında derinlikle birlikte artarken kazanılan cevher

miktarı derinlere inildikçe sabit kalmakla birlikte, kaldırılacak olan örtü miktarı artmaktadır. Ayrıca, topoğrafik yapı da örtü-kazı oranına etki etmektedir.

*Genel şev açısı*; işletmenin, örtü-kazı oranını etkileyen genel şev açısı genellikle 20°-70° arasındadır. Konik tarz bir açık işletme tasarımı ve 500 ft işletme derinliğinde bu açının 10°'lik değişimi kaldırılması gereken hacmi iki katı değiştirmekte, genel şev açısı 50° de örtü kazı miktarı 10 milyon ton iken bu şevin 40°'ye düşürülmesi durumunda 20 milyon tona yükseldiği belirtilmektedir (Hustrulid, Kuchta,1995). Açık işletmelerde artan şev açısı ile birlikte genel ve enstantane örtü-kazı oranları azalır ekonomiklik sağlanırken şev stabilitesi de zorlaşmakta şev kayması riski oluşmaktadır. Bu nedenle, ideal şev açısı saptanarak iş güvenliği ve işletme ekonomisi optimize edilmelidir. Damar eğimi genel şev açısına eşit olana kadar tavan örtükazısı yapılmakta iken damar eğimi genel şev açısını aştığında taban örtükazısının da yapılmasını gerektirmektedir.

*Limit tenör*; Cevher yatağının ekonomik değer taşıyan en düşük sınır tenörüdür. Kazı sırasında cevher tenörü sınır tenörün üzerinde ise, cevher hazırlama tesisine ya da satışa, altında ise döküm sahasına sevk edilir. Artan sınır tenör ile birlikte, ekonomik olarak değerlendirilecek rezerv azalmaktadır. Buna karşın ton başına kar, artan sınır tenör oranına karşı önce artmakta, belirli bir tenör değerinde maksimum düzeye ulaşmakta ve sonra düşmektedir.

*Üretim Kapasitesi*, yıllık üretim miktarının belirlenmesinde, üretime bağlı olmayan sabit giderlerin yanısıra cevher üretimi tamamlanana kadar yapılan tüm işlem ve harcamalar dikkate alınmalıdır. Ayrıca satış fiyatı, makina ilkyatırımları ve yeraltı hazırlık yatırımları da kapasitenin belirlenmesinde etkili faktörlerdir.

#### 4 YAKLAŞIM MODELİ

Maden işletme ekonomisi; örtü-kazı hacmi, nakliye mesafesi, hazırlık programı ve yatırımların dominant etkisinde ve artan işletme derinliğiyle birlikte daha fazla

etkilenmektedir. Önerilen yaklaşımla, öyle bir derinlik hesaplanarak maden işletmesinden elde edilmesi öngörülen en yüksek NBD sağlanılmaktadır. Bu derinlik işletmenin tamamen açık yada yeraltı işletmesi olarak planlanmasına karar verilmesini ortadan kaldırıp ideale yakın geçişli bir işletme modelini ortaya koymaktadır. Bu geçiş derinliğiyle, açık ve yeraltı işletmelerinin her ikisinin de pozitif bölgelerden yararlanılarak maksimizasyona odaklanılmaktadır. Bu nedenle, planlamada ideal geçiş derinliği ve süresinden sonra açık işletmenin yeraltı işletmesine dönüşümü ile net bugünkü değerler toplamını maksimize eden optimal kapasiteli üretim modelinin belirlenmesi temel amaçtır. Temel amaç fonksiyonu; Eşitlik (1)'de tanımlanmaktadır. Genel olarak matematiksel modeller eşitlik (2,3,4) ve (5)'te verilmektedir.

$$Z = \max \Sigma \text{NBD} \quad (1)$$

$$\text{NBD} = \sum_{k=1}^n \frac{NG_n}{(1+i)^k} + \frac{H}{(1+i)^n} - Y \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^n \text{NBD} = \sum_{k=1}^t \text{NBD}_a + \sum_{k=t}^n \text{NBD}_y \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^t \text{NBD}_a = \Sigma(Q * (s - c)) - \Sigma(Y_m + Y_h) + H \quad (4)$$

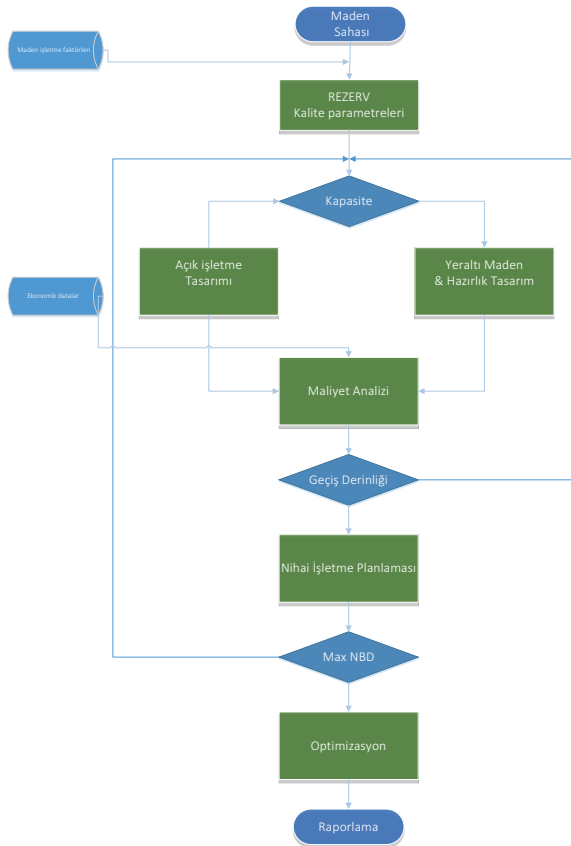
$$\sum_{k=t}^n \text{NBD}_y = \Sigma(Q * (s - c)) - \Sigma(Y_m + Y_h) + H \quad (5)$$

Planlamada, işletme üretim kapasitesi(Q) ve ekonomik ömrü(n) süresince derinlik ve yıl(k,t) değişkenlerine göre açık(a) ve yeraltı(y) maden işletmeleri için oluşması öngörülen birim üretim maliyeti(c) ve net bugünkü değerleri hesaplanmaktadır. Öngörülen NBD; hazırlık yatırımları(Y<sub>m</sub>), makina ilkyatırımları(Y<sub>m</sub>) ve hurda(H) değerlerinin yıllık nakit giriş(gelir-gider) (NG<sub>n</sub>) ve satış(s) değeriyle belli bir faiz(i) oranında değerlendirilmektedir. Üretim kapasite, işletme derinliği ve sıralaması, zamanın bir fonksiyonu olarak üretim sonucu elde edilecek NBD'yi ve genel olarak işletme fizibilitesini etkilediğinden, optimal planı belirleyen ideal parametrelerin belirlenebilmesi ve optimizasyonu için Visual Basic tabanlı bir bilgisayar programı yazılmıştır(Şekil 2).

Şekil 2. Yazılıma ait bir arayüz

#### 4.1 Yazılım Akım Şeması

Yazılım programı, bir maden sahasından elde edilebilecek maksimum ekonomik kazanımlara odaklanmıştır. Bu nedenle açık ve yeraltı işletmelerinin de teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilip analiz ve optimizasyona uygun tasarlanmıştır. Tasarım prosedürüne ait akım şeması Şekil 3'dir.



Şekil 3. Yazılım akım şeması

#### 4.2 Örnek Model Uygulama

Yazılım kullanılarak örnek bir model uygulaması yapılarak işletme derinliği belirlenmektedir. Model uygulaması için teknik parametreler şunlardır;

- Rezerv : 20 milyon ton,
- İşletme derinliği : 400 m.,
- Taşıma mesafesi : 2000 m. ,
- İşletme ömrü : 20 yıl,
- Örtü-kazı oranı : 5.22 m<sup>3</sup>/ton,
- Genel şev açısı : 55 derece,
- Üretim kapasitesi : 1000 000 t/yıldır.

Açık işletme ve yeraltı işletme modelleri için net bugünkü değerler hesaplanmıştır. Açık işletme yöntemi ile 359 674 767 \$ NBD sağlanırken, yeraltı işletmesi olarak planlanması durumunda aynı işletme kapasitesi ve derinliği için 369 053 203 \$ NBD sağlanmaktadır. Çizelge 2'de işletme derinliğinin değişimiyle ulaşılan NBD kazanımları verilmektedir.

Önerilen modelin tasarlanması durumunda; 519 522 398 \$'lık maksimum net bugünkü değer sağlandığı görülmektedir(Çizelge 3).

Çizelge 2. Açık ve yeraltı işletme modelleri

Yıl	İşletme		Açık	Yeraltı
	Derinlik m	Kapasite ton/gün	NBD \$	NBD \$
1	20	3039	4079029	27216511
2	40	3039	46593562	64768828
3	60	3039	85122008	98914238
4	80	3039	120224718	129941259
5	100	3039	148986579	158159509
6	120	3039	177724629	183813963
7	140	3039	196091178	206237322
8	160	3039	219841633	227441328
9	180	3039	236404103	246710284
10	200	3039	255126119	263579661
11	220	3039	272812114	279518665
12	240	3039	288890292	293998427
13	260	3039	303506817	307156730
14	280	3039	313528887	318671235
15	300	3039	320067288	328116886
16	320	3039	330943857	338001641
17	340	3039	340831647	346987216
18	360	3039	343989923	355142890
19	380	3039	352087908	362542214
20	400	3039	359674767	369053203

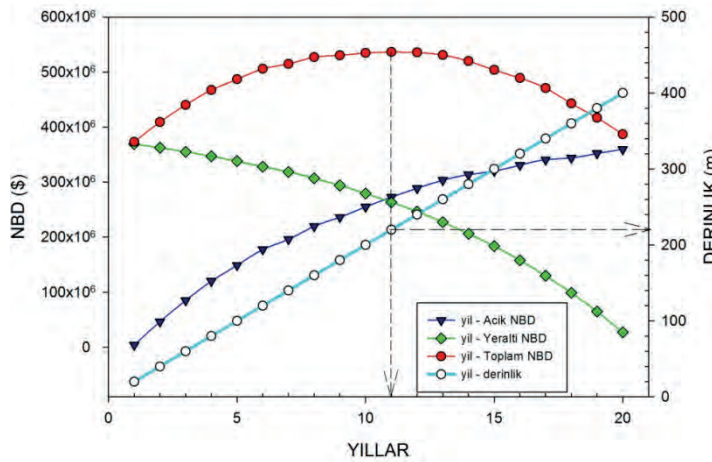
## 5 DEĞERLENDİRME

Önerilen işletme modeliyle maden rezervinden sağlanan toplam net bugünkü değer, konvansiyonel açık ve yeraltı işletmelerinin ayrı ayrı planlaması durumunda elde edilen değerden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Önerilen işletme modeli için öngörülen değerler

İşletme Modeli					
Yıl	H	Açık	Yıl	Yeraltı	Toplam
	m	NBD \$		NBD \$	NBD \$
1	20	4079029	19	362542214	366 621 243
2	40	46593562	18	355142890	401 736 452
3	60	85122008	17	346987216	432 109 224
4	80	120224718	16	338001641	458 226 359
5	100	148986579	15	328116886	477 103 465
6	120	177724629	14	318671235	496 395 864
7	140	196091178	13	307156730	503 247 908
8	160	219841633	12	293998427	513 840 060
9	180	236404103	11	279518665	515 922 768
10	200	255126119	10	263579661	518 705 780
11	220	272812114	9	246710284	519 522 398

Optimal geçiş derinliği, zamanın bir fonksiyonu olarak işletmeden sağlanacak net bugünkü değer maksimum olduğu noktadır. Açık işletmeden yeraltı işletme yöntemine optimal geçiş derinliği olarak 220 m bulunmaktadır(Şekil 4).



Şekil 4. NBD ve optimum geçiş derinliği

Açık işletme üretiminin 11 yıl, kalan rezervin aynı kapasiteyle 9 yıl yeraltı işletmesi olarak optimize edilen model; en yüksek NBD'yi sağladığı görülmektedir.

## 6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Maden işletmelerinin optimum geçiş derinliğine dayalı planlaması durumunda sağlanan NBD, konvansiyonel açık ve yeraltı işletmesi planlaması durumunda elde edilen değerlerden daha yüksektir. Bu derinliğin belirlenmesiyle optimize edilen üretim modelinin maden işletmeler için en yüksek NBD'leri sağladığı görülmektedir.

Maden işletmelerinin, farklı derinlik ve kapasitelerde planlanan açık ve yeraltı işletmelerinin geçişine dayalı bir işletme tasarımı ile değerlendirilmesinin o maden sahasına ait rezervden elde edilmesi öngörülen ekonomik değer kazanım maksimizasyonu sağladığı ve bu tarz bir planlama anlayışının daha rasyonel ve reel olacağı için önerilmektedir.

Bu önerilen yaklaşımının geliştirilmesi ile maden rezervleri ile aktif çalışan işletmelerin daha rasyonel ve reel değerlendirilebileceği öngörülmektedir. Böylelikle, madencilik sektörüne ulusal-ekonomik açıdan faydalar kazandırabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Askari-Nasab, H., Frimpong, S., Szymanski, J., 2008. Investigating continuous time open pit dynamics. *Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, SAIMM, vol 108*, 61-71.
- Baffoe S.B., Al-Hassan, S., 2005. Open pit mine planning and design – a case study. *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry*, ISBN 04 1537 449 9, pp.287-290, London.
- Bakhtavar, E., Shahriar, K. & Oraee, K., 2009. Mining method selection and optimization of transition from open pit to underground in combined mining. *Archives of Mining Sciences, Vol.54, No 3*, 481-493
- Camus, J. P., 1992. Open pit optimization considering an underground alternative. *Proceeding of 23th International APCOM Symposium*, pp.435-441
- Chen, J., Guo, D. & Li, J., 2003. Optimization principle of combined surface and underground mining and its applications *Journal of Central South University of Technology, Volume 10, No 3*, 222-225.

- Dağdelen, K.,2001. Open pit optimization strategies for improving economics of mining projects through mine planning, *17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey- IMCET 2001*, pp.117-121.
- Flores, G. (2004). Geotechnical challenges of the transition from open pit to underground mining at Chuquicamata Mine. *Proceedings of MassMin Conference*, Chile, 591-602.
- Hartman, H.L. & Mutmanský, J.M. (2002). Underground mining method; *Introductory Mining Engineering*. John Wiley, New Jersey.
- Hustrulid W.,Kuchta.M.,1995. Open Pit Mine Planning and Design, vol.1. Fundamentals, A.A.Balkema Rotterdam, pp: 310-311.
- Köse, H., Yalçın, E., Şimşir, F., Konak, G., Onargan, T., Karakuş, H. (2001). *Açık İşletme Tekniği* (Düzeltilmiş 2. Baskı), D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 256, İzmir.
- Lerchs, H. & Grossmann, I.F. (1965). Optimum design of open pit mines. *Canadian Institute of Mining Bulletin*, vol 58, 17-24.
- Mallı T., 2013. *Yatırım Teorileri Kullanılarak Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletme Sınırının Belirlenmesi*. Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Nilsson, D. S. (1997). Optimal final pit depth: Once again. *International Journal of Mining Engineering* pp.71-72.
- Onur, A.H. & Dowd, P.A. (1992). Optimal scheduling in open pit mining. *Leeds University Mining Association (LUMA) Journal*, England, 71-80.
- Runge, I.C.,1998. Mining economic and strategy. *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, SME*, Littleton, CO, USA, 24-171.
- Stebbins, S.A., Schumacher, O.L. ,2001. Cost estimating for underground mines. *Underground Mining Methods, SME*, pp.49-56.
- Whittle, J. (1988). Beyond optimization in open pit design. *Computer Applications in the Mineral Industry*, Balkema, Rotterdam, 331-337.



# Üç Farklı Kazı Arını Optimizasyon Yönteminin Var Olan Bir Madene Uygulanması ve Sonuçların Karşılaştırılması (Kazı Arını Sınırlarının Optimizasyonunda Örnek Bir Uygulama)

## *The Implementation of the Three Different Stope Boundary Optimization Methods in an Existing Underground Mine and Comparison of Results (A Practical Example in the Optimization of Stope Boundaries)*

G. Erdoğan, M. Yavuz

*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir*

**ÖZET** Yeraltı maden üretimlerinin planlanması ve tasarlanması için yapılan optimizasyon çalışmaları, açık ocak tasarımları için yapılan uygulamalar kadar yaygın olmayıp, nispeten yeni ve halen gelişmeye açıktır. Son yıllarda dikkat çekmeye başlayan yeraltı madenlerinin optimizasyonu, temel olarak kazı arını sınırlarının optimizasyonu, hazırlık işlemlerinin optimizasyonu ve üretimin zaman planlamasının optimizasyonu olmak üzere üç ana alana ayrılmaktadır. Bunlardan kazı arını sınırlarının optimizasyonu, optimizasyon işlemlerinin tümü için bir başlangıç noktası olarak düşünülmektedir ve işletmelerinin ekonomisi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Literatürde optimum kazı arını sınırını bulmak için geliştirilmiş çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu bildiride, çalışmalardan Maksimum Değerli Komşuluk Algoritması, Sandanayake ve Topal Algoritması ve MSO (Mineable Shape Optimizer) yazılım aracı incelenmiştir. Seçilen çalışmalar bir yeraltı maden verisi üzerine uygulanmış ve bunların yeraltı maden planlanması ve tasarlanmasındaki kullanılabilirlikleri, becerileri ve sınırları tartışılmış, son olarak sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yeraltı madenciligi, optimizasyon, algoritmalar, kazı arını optimizasyonu, karşılaştırma

**ABSTRACT** Optimisation studies for underground mine design and planning are not usual as open pit optimisation studies, they are relatively new and still open to improvement. The underground mine optimisation which has begun to received attention in recent years can be divided to three main areas that are optimisation of stope boundaries, optimisation of development and optimisation of production schedule. Among these, stope boundary optimisation may be considered as a starting point for the full optimisation process and has a direct impact on the economics of the operation. In literature, there are a number of studies that have been developed to find optimum stope boundaries. In this paper, Maximum Value Neighbourhood Algorithm, Sandanayake ve Topal algorithm and MSO software tool has examined. The selected studies have been implemented on data of an underground mine and their applicability, capabilities and limitations in underground mine planning and designs have been discussed, and finally results have been compared each other.

**Keywords:** Underground mining, optimisation, algorithms, stope boundary optimisation, comparison

## 1 GİRİŞ

Maden planlama ve tasarlama sürecindeki optimizasyon çalışmaları, doğal kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve madencilik sırasında ortaya çıkan maliyetlerin tümünü azaltmak için oldukça önemlidir. Açık ocak madenciliği için maden plan ve tasarımlarının optimizasyon problemleri oldukça iyi tanımlanmıştır ve bu alanda geliştirilen algoritmalar ve yazılımlar şimdi rutin bir şekilde uygulanabilmektedir (Musingwini, 2016).

Yeraltı maden planlama ve tasarımlarının optimizasyonu ise ancak son 20-25 yıldır dikkat çekmeye başlanmış ve açık ocak madenciliği ile karşılaştırıldığında çalışmaları daha geride kalmıştır. Bu konularda ki literatürün geri kalma sebebi kısmen yeraltı madenlerinde karşılaşılan tasarım problemlerinde ki değişkenlik, kısmen de bu problemlerin karmaşıklığıdır (Alfred ve Hall, 2009). Yeraltı maden optimizasyonları için yapılan çalışmalar üç ana başlık altında toplanabilir (Sens ve Topal, 2009). Bunlar; kazı arını sınırlarının optimizasyonu, üretimin zaman planlaması optimizasyonu ile hazırlık ve altyapıların optimizasyonudur. Yeraltı maden planlaması bu üç alan arasında gerçekleşen ve birbiriyle sürekli etkileşim halinde olan bir süreçtir. Genellikle bahsedilen alanların optimizasyonu ayrı ayrı, sırayla ve birinin çıktısı diğerinin girdisi olacak şekilde yapılmaktadır (Little vd., 2013).

Yer altı madenlerinin optimizasyonu için belirtilen üç ana başlık içerisinde kazı arını sınırlarının optimizasyonu, diğer alanların optimizasyon girdisi olacağından kritik önem taşımaktadır. Burada kazı arını, yeraltı üretim yöntemlerini kullanarak cevheri onu çevreleyen kaya kütlelerinden çıkarmak için oluşturulan üretim bölgesi olarak tanımlanmalıdır. Kazı arınlarının sınırının optimum olarak belirlenmesi ise bir maden projesinin jeolojik, fiziksel ve jeoteknik kısıtlar altında ekonomik karını maksimize etmeye yardımcı olacaktır. Ayrıca optimum kazı arını tasarımları göz önüne alınarak maden faaliyetlerinin yönlendirilmesi, insan kaynaklarının ve finansal kaynakların en iyi şekilde kullanılmasını ve yönetilmesini

sağlayacaktır. Bu yüzden, kazı arınlarının optimizasyonu yeraltı madenlerinin fizibilite çalışmalarında kritik öneme sahiptir. Bu bildiride yeraltı maden planlamanın önemli bir basamağı olan kazı arını sınırının optimizasyonu ile ilgili bir çalışma sunulmuştur.

### 1.1 Kazı Arını Sınırının Optimizasyonu

Optimum kazı arını sınırlarının belirlenmesi binlerce maden bloğunun olası tüm kombinasyonlarının analiz edilmesine dayanan oldukça karmaşık bir problemdir. Bu probleme optimum çözümler bulmak için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalar kesin sonuç bulan (rigorous) ve sezgisel ya da yaklaşık sonuç bulan (heuristic) olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır (Ataee-Pour, 2005). Kesin sonuç bulan algoritmalar matematiksel kanıtlarla desteklenmekte ve yeterli zaman verilirse bulacağı çözümler her zaman optimum olmaktadır. Öte yandan sezgisel algoritmalar optimum çözümleri üretmeyi garanti etmemekle birlikte, sadece yaklaşık çözümler vermektedir. İlerleyen bölümde kesin ve sezgisel bazı önemli algoritmalar, bunların avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır.

**Dinamik Programlama** çözümü (Riddle, 1977) kesin sonuç bulan algoritmalar kategorisinde yer alan ve yeraltı maden sınırlarını optimize etmeye çalışan ilk çalışmalardan birisidir. Yaklaşım nihai açık ocak sınır optimizasyonu için geliştirilen bir algoritmanın yeraltı için uyarlamasıdır (Johnson ve Sharp, 1971). Temelde cevher kütlelerini taban taşlarıyla ayırarak madencilik yapılacak ve yapılmayacak bölgelerin tüm elverişli kombinasyonlarını incelenmekte ve ekonomik kârı maksimize etmeye çalışmaktadır. Yaklaşımın en büyük dezavantajı yalnızca iki boyutta optimum kazı arını tasarımlarını belirleyebilmesidir. İki boyutlu bölümler, üç boyutlu kazı arını sınırlarını elde etmek için birleştirildiğinde, kazı arını kısıtları ihmal edilmekte ve optimum olma durumu garanti edilememektedir. Bir diğer dezavantaj ise yöntemin yalnızca blok göçertme yöntemi için geliştirilmiş olmasıdır.

Kesin sonuç bulan algoritmalar kategorisinde yer alan bir diğer örnek ise Ovanic ve Young (1995, 1999)'un kazı arını sınırının belirlenmesi için **Dal ve Sınır (Branch and Bound) Algoritmasını** kullanılması ile ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar optimizasyon için "İkinci Tür Özel Sıralı Set (SOS2)" olarak bilinen Karışık Tamsayı Programlama (MIP) tekniğini kullanmışlardır. Bu çalışmanın amacı, verilen kazı arını boyutlarına dayanarak madencilik için en uygun başlangıç ve bitiş konumlarını bulabilmektir. Dal ve Sınır Algoritmasında blokların düzenli veya tekdüze şekilli olma zorunluluğu da yoktur, yani blokların şekilleri ve boyutları optimizasyonu etkilememektedir. Buna rağmen, algoritmanın uygulanması basit cevher kütleleri ile sınırlı kalmıştır ve madencilik yönü boyunca yalnızca tek boyutta modellenmektedir.

Bai ve arkadaşlarının (2013) yeraltı kazı arını optimizasyonu için geliştirdiği **Network Akış (Network flow) Algoritması**, kesin sonuç bulan algoritmalar kategorisinde yer alan bir başka çalışmadır. Algoritma sadece ara katlı kazı üretim yöntemi için geliştirilmiştir. Burada öncelikle, serbest yüzey olarak düşünülen, başyukarının geliştirileceği bir başlangıç konumu ve kapsamı belirlenmektedir. Daha sonra kazı arını karı başyukarının konum ve yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak optimize edilmeye ve sonunda başyukarılar için en iyi konum ve yükseklik tespit edilmeye çalışılacaktır. Algoritmanın performansı Hareketli Kazı Arını Algoritması ile karşılaştırılmış ve daha iyi sonuçların bulunduğu gözlenmiştir. Buna rağmen, algoritmanın daha geniş çaplı cevher kütlelerinde ve diğer maden üretim yöntemlerinde kullanılabilmesi için genişletilmesi ve bunlara uyarlanması gerekmektedir.

Sezgisel algoritmalar kategorisinde yer alan **Hareketli Kazı Arını (Floating Stope) Algoritması** yeraltı üretim yöntemleri ile ekonomik olarak işletilebilecek cevhere ait en uygun nihai sınırı belirlemeyi amaçlamaktadır (Alford, 1995). Algoritma üç boyutta çalışmakta ve DATAMINE (CAE

Studio 3, 2014) adlı yazılım programında ticari ulaşılabilirliği bulunmaktadır. Bir kazı arını şeklinin blok model boyunca belirlenen artış miktarına bağlı olarak, en yüksek değere sahip kazı arını konumunu bulmak için, hareket ettirilmesi esasına göre çalışmakta ve tüm alternatif kazı arınlarını bu yolla belirlemektedir. Kazı arını şeklinin hareket ettirilmesi işlemi esnasında "iç" ve "dış" olarak ifade edilen iki bürüm (envelope) tanımlanmaktadır. İç bürüm kazılabilir sınır tenör üzerindeki tüm bloklardan ifade edilmekte olup, en iyi tenör değerli kazı arını şekillerinin birleşimidir. Dış bürüm ise sınır tenör üzerinde ki her bloğun olası tüm kazı arını konumlarının birleşimidir. Nihai kazı arını iç bürümüne oldukça yakın, dış bürüm ve iç bürüm sınırları arasında yer almalıdır. Algoritma üç boyutlu değerlendirme yapabiliyor olsa da, maden tasarımları için yalnızca sezgisel bir yaklaşım getirmektedir. Daha önemlisi, blokların paylaşıldığı üst üste örtüşen kazı arınları oluşturulmaktadır. Ancak fiziksel olarak bir bloğun birden fazla kazı arınına dâhil edilmesi olası değildir.

Ataee-Pour (2000)'un kazı arını sınırlarını üç boyutta optimize etmek amacıyla geliştirdiği **Maksimum Değerli Komşuluk (Maximum Value Neighbourhood, MVN) Algoritması** da sezgisel algoritmalar kategorisindedir. Bu algoritma cevher kütlelerinin üç boyutlu ekonomik blok modeli üzerinde çalışmakta ve belirli jeoteknik ve madencilik kısıtları (minimum ve maksimum kazı arını boyutu gibi) altında blokların, maksimum net değeri verecek en iyi kombinasyonunu aramaktadır. Optimizasyon işlemi sırasında önce her bloğun ekonomik değeri belirlenmekte, ardından blokların her birinin çevredeki bloklarla (komşuluk-minimum kazı arını boyutu kadar) birlikte ekonomik değerleri hesaplanmaktadır. Daha sonra maksimum komşuluk değerini oluşturan bloklar kazı arını sınırına dâhil edilmekte ve blok modelden çıkartılmaktadır. Algoritmanın en önemli avantajı kolaylığı ve entegre bir yazılım (Minesight) içerisinde uygulanabilirliğidir. Ayrıca Hareketli Kazı Arını Algoritmasındaki kazı arınlarının üst üste

oluşması ve örtüşmesi sorunu burada giderilebilmiştir. Ancak çalışılmaya başlanan nokta değiştiğinde, algoritma aynı cevher kütlesi için farklı nihai kazı arını sınır seti oluşturmaktadır.

Üç boyutta kazı arını sınırlarını maksimum karı verecek şekilde bulmaya çalışan bir diğer sezgisel algoritma **Sens ve Topal (2009)** tarafından geliştirilmiştir. Bu algoritma kazı arınlarının sınır ve tasarımlarının oluşturulma yöntemini üç ana başlıkta ortaya koymuştur; blok dönüştürücü, kazı arını optimize aracı ve son olarak görselleştirme aracı (Sens, 2008). Algoritmada öncelikle blok dönüştürücü aracı ile birden fazla blok boyutu içeren model, blokların tek bir boyutta olduğu modele çevrilmektedir. Bu yeni modelin kullanıldığı optimizasyon aracı ise Matlab yazılımıyla oluşturulmuştur ve kazı arını boyut aralığını, cevher fiyatlarını, metre küp başına madencilik maliyetlerini ve kazı arını üretimi başlatma maliyetlerini kullanarak olası tüm pozitif değerli kazı arınlarını, gelirleri ve konumları ile birlikte içerecek bir listede toplamaktadır. Daha sonra bu listeden, en yüksek değerli kazı arınından başlaması gibi, farklı seçim ölçütleriyle maksimum karı verecek bir kazı arını düzeni seçmektedir. Son olarak görselleştirme aracıyla tüm kazı arınlarının nihai sınırının üç boyutlu modeli çıkarılmaktadır. Sunulan bu algoritma kazı arını sınırlarının birçok kazı arını tasarım stratejisine bağlı olarak oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca tek sabit bir kazı arını boyutu veya bir dizi kazı arını boyutu kullanarak optimizasyonunu gerçekleştirebilmektedir. Hareketli Kazı Arını Algoritması'nın aksine çözümünde üst üste örtüşen kazı arınları olasılığını içermemektedir. Bunlara rağmen yaklaşım kazı arınlarını kullanıcının tercih sırasına göre, örneğin kazı arını kar değerlerinin azalacak sırada olduğu durumda seçtiğinden, kazı arını tasarımlarının tüm kombinasyonlarını hesaba katmamaktadır.

**Topal ve Sens (2010)** yaklaşımı, kazı arını seçim sırasını kullanıcının tercihine bırakmasından kaynaklanan bu dezavantajı gidermek için, önceki çalışmaya (Sens ve Topal, 2009) yeni bir ölçüt daha eklemiştir.

Bir önceki çalışmada farklı kriterlere göre kazı arınlarını seçmeden önce, olası her kazı arınının etrafında bir bürüm oluşturmuşlardır. Sonra bürümün içerisinde yer alan tüm kazı arınlarının değeri toplanmış ve toplam kazı arını sayısına bölünerek ortalama bir değer bulunmuştur. Bu ortalama bürüm değeri olası her kazı arını için kazı arını listesine eklenmiştir. Geliştirilmiş yeni çalışmada kazı arınlarını seçilirken, artık onun en yüksek ortalama bürüm değerine de sahip olup olmadığını kontrol edilmiştir. Seçim esnasında ortalama bürüm değerinin kullanılmasında, algoritmanın optimum kazı arını kombinasyonu seçmesine yardımcı olması amaçlanmıştır.

Sezgisel yaklaşımlara dâhil edilen yenilikçi bir algoritma da **Sandanayake vd. (2015)** tarafından, kazı arını tasarım problemini üç boyutta optimize edebilmek amacıyla geliştirilmiştir. Algoritma optimizasyon işlemine farklı boyutlarda blok içeren düzensiz denebilecek bir kaynak modeli, eşit boyutlu bloklar içeren bir modele dönüştürerek başlamaktadır. Ardından düzenlemiş olduğu bu jeolojik modeli, verilen ekonomik parametreler ile bir ekonomik blok modele dönüştürmektedir. Ekonomik blok modeli girdi olarak kullanarak, istenilen kazı arını boyutlarında olası tüm kazı arınlarının bir setini oluşturmakta ve bu kazı arınlarına ekonomik atamaktadır. Daha sonra, olası tüm kazı arınlarını değerlendirmekte ve negatif değerli kazı arınlarını hesaplamalardan çıkararak bir set pozitif değerli kazı arını oluşturmaktadır. Algoritma daha sonra pozitif değerli kazı arınlarının seti üzerinde, verilen maden senaryoları için kazı arınlarının üst üste örtüşmediği farklı çözümler üretmektedir. Son olarak olası çözümler arasından en yüksek ekonomik değerli olanı seçmekte ve bu seçimi görselleştirmektedir. Burada ele alınan maden senaryoları; değişken boyutlarda ki kazı arınlarının, maden üretim katlarının, topukların tasarımını içermektedir. Sandanayake ve Topal Algoritması tek ve örtüşmeyen kazı arınları düzeni oluşturabilmektedir (Sandanayake, 2014). Ancak algoritmanın optimum çözümü bulmak için olası tüm tek kombinasyonları

değerlendirmesi gerekmekte, bu ise geniş skalada ki uygulamalarda önemli ölçüde bilgisayar gücü ve zaman gerektirmektedir.

Kesin ve sezgisel kategoriye dahil edilen bu algoritmaların yanı sıra, bazı entegre madencilik yazılımları da kazı arını sınırlarının optimize edilebilmesi üzerine araçlar geliştirmeye başlamışlardır. Bunlara DATAMINE yazılımının henüz geliştirdiği **MSO (Mineable Shape Optimisier)** tasarım aracı önemli bir örnektir. Bu araç verilen geometri, jeolojik, jeoteknik ve tasarım sınırları içerisinde ekonomik karı maksimize edecek kazı arını tasarımlarını otomatikman bulmaya çalışmaktadır (Walker, 2013). Bunun yanında cevher geometrisini dikkate alarak, işletilebilir maden şekillerini aramakta ve yeraltı maden tasarımları için kazı arınlarının optimal şekil, boyut ve konumlarını hesaplamaktadır (Datamine, 2014). MSO tasarım aracı maden kaynağının ekonomik değer veya tenör ve yoğunluk değerlerini sağlayan bir blok modeli girdi olarak kullanmaktadır. Ardından, bu model üzerinde cevher şekillerinin oluşturulacağı hacimleri (taslak şekil) tanımlamaktadır. Kazı arını yüksekliği ve genişliğine eşit olarak kabul edilen kat ve kesit aralığı, bu taslak şekilde belirlenmektedir. Ayrıca MSO aracı, taslak şekil oluşturulurken cevher kütesinin eğim ve doğrultu bilgilerini içeren oryantasyon ayarlarını da yapmaktadır. Daha sonra genellikle bir sınır tenör değeri ile bu şekli optimize etmektedir. Bu esnada tavan ve taban taşı eğimlerine, kazı arını genişliklerine, paralel kazı arınları arasında ki topuk kısıtları gibi birçok sınırlamanın tanımlanmasına izin vermektedir. MSO tasarım aracı geniş bir yelpazede birçok yeraltı maden üretim yöntemi için kullanılabilen ve masif, dikey ve düşey yataklar için çözümler sağlayabilmektedir. Buna rağmen optimizasyon işleminin en başında bir sınır tenörün belirlenmesi gerekliliği, bu aracın ürettiği sonuçları optimal olmaktan otomatik olarak uzaklaştırmaktadır (Little, 2012).

## 2 MATERYAL VE YÖNTEM

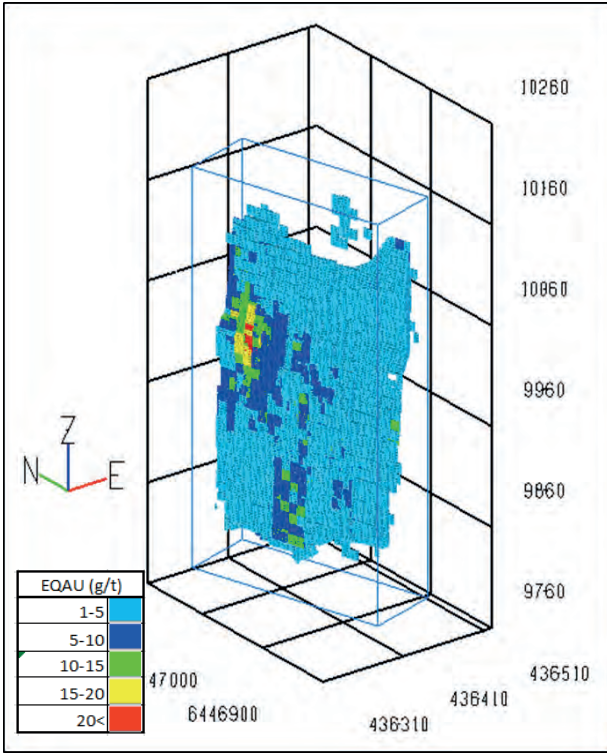
### 2.1 İncelenen Madenin Tanıtılması

Bu çalışma kapsamında incelenen maden Avustralya da, yaklaşık olarak Yeni Güney Galler bölgesinin merkezine yakın bir konumda halen üretimine devam etmektedir. Maden ekonomik cevherin yüzeyin 150 m aşağısından başlayarak 600 m derinliğe kadar tanımlandığı oldukça derinde yer alan bir altın-kurşun-çinko-gümüş oluşumu içeren kompleks bir metal yatağıdır. Cevher mercekleri, neredeyse dikey ve 2 ile 10 m aralığında, tenör dağılımına göre değişiklik gösteren genişliklere sahiptir. Cevherin yapısı nedeniyle üretim yöntemi olarak Ara-Katlı Kazı üretim yöntemi seçilmiştir.

Şirket bu madene ait bilgilerin tümünden ziyade kendisinin belirlediği bir bölgeye ait blok model verilerini ve bu bölgede standart deneysel kurullarla tasarladığı kazı arını sınır bilgilerini bu çalışmada kullanılmak üzere tarafımıza sağlamıştır.

#### 2.1.1 Madenin blok modeli

Bölgeye ait blok model de bloklar sırasıyla X, Y ve Z yönünde  $1 \times 2,5 \times 2,5$ m olmak üzere aynı boyuttadır. Sağlanan blok modelde en önemli parametre metallerin tenör değerleridir. Burada cevher yatağı altın, gümüş, çinko ve kurşun içeren çok metalli bir yatak olduğundan, her blok ayrı ayrı tüm metallerin tenör değerlerini ve özgül ağırlıklarını içermektedir. Ancak optimizasyon işlemlerinin çoğu halen tek bir metal tenörü üzerinde çalışmalarını yürütebildiğinden her blok için, dört farklı metal tenör değerinin tek bir tenör değeriyle ifade edildiği eş değer tenörler hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonunda, EQAU (birincil metal altın) ile ifade edilen altın eşdeğer tenörü 0 g/t ve 30.46 g/t aralığında çıkmış ve bu değerler blok modele eklenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Blok modelin üç boyutlu görüntüsü

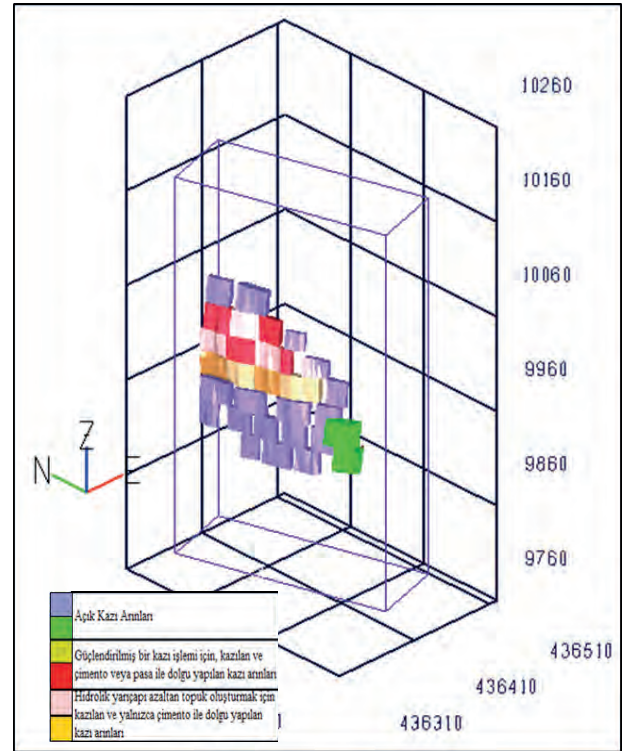
### 2.1.1.1 Madenin ekonomik blok modeli

Bu çalışma kapsamında jeolojik blok modelin yanı sıra ekonomik blok modele de ihtiyaç duyulmuştur. Burada ekonomik blok model, bloklara atanmış ekonomik değerle ifade edilmektedir. Bu ekonomik değerlerin hesabı için de blokların eş değer tenörleri ve 1143,2 \$/ons altın fiyatı, 72,79 \$/ton sabit üretim maliyeti, 34,55 \$/ton sabit cevher hazırlama maliyeti, %77 genel kazanım oranı ve %13 genel seyrelme ekonomik parametre olarak kullanmıştır. Oluşturulan ekonomik blok modelde, blokların ekonomik değerleri (EVAL) -1458,99 AUD\$ ile 17796,375 AUD\$ arasında değişiklik göstermiştir.

### 2.1.2 Madenin El Yordamıyla Kazı Arını Tasarımı

Kazı arını boyutları jeoteknik ve jeolojik parametrelere ayrıca planlama mühendislerinin yargılarına dayanarak X, Y ve Z yönünde sırasıyla 6×20×25 m olarak belirlenmiştir. Daha sonra nihai kazı arını sınırı, blok modele ve bir sınır değerine (cut-off) dayanarak yine sahada çalışan mühendisler tarafından el yordamıyla tasarlanmıştır. Burada sınır değer, cevher yatağının metal ve özellikle altın doğasını en

iyi şekilde yansıttığı düşünülen NSR(Net Smelter Return) değeridir ve 140\$ (NSR/ton) olarak belirlenmiştir. Optimizasyon işlemleri uzun bir deneme yanılma sürecinin ardından ancak aylar sonra tamamlanabilmiştir. Tasarımlar buna rağmen, kesitler arasındaki blok model içeriğine bakılmaksızın tek bir dikey düzlemdeki blok model görüntüsüne dayandığından çoğu durumda optimum değildir. El yordamıyla tasarlanmış kazı arınları Minesight yazılımına taşınmış ve sonuçlar Şekil 2' deki gibi sunulmuştur.



Şekil 2. Verileri sağlanan bölge için şirketin tasarladığı kazı arınları

## 2.2 Seçilen Algoritmaların Maden Çalışmasına Uygulanması

İncelenen madenin izin verilen kısmı üzerinde bir önceki bölümde anlatılan çalışmalardan; Maksimum Değerli Komşuluk Algoritması, Sandanayake ve Topal Yaklaşımı ve yeni bir kazı arını tasarım aracı olan MSO sırayla uygulanmıştır. Bu çalışmaların seçilmesinde ki en önemli ölçüt, ulaşılabilir hazır bir yazılım ile uygulanabilir olmalarıdır. Tüm çalışmaların optimizasyon işlemleri sahaya ait ekonomik blok modeli ve kazı arınına ilişkin jeoteknik kısıt ve boyut gibi bilgilerini girdi olarak kullanılmaktadır. Daha sonra

çalışmalar kendi değerlendirme sistemleriyle optimum olduklarını düşündükleri kazı arını sınırlarını tasarlamaktadır. Bu çalışmaların uygulamalarından elde edilen sonuçlar birbiriyle ve madenden elde edilen kazı arını tasarım sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, çalışmaların yeraltı maden planlama ve tasarım işlerinde uygulanabilirliği incelenmiş, becerileri ve sınırları tartışılmıştır.

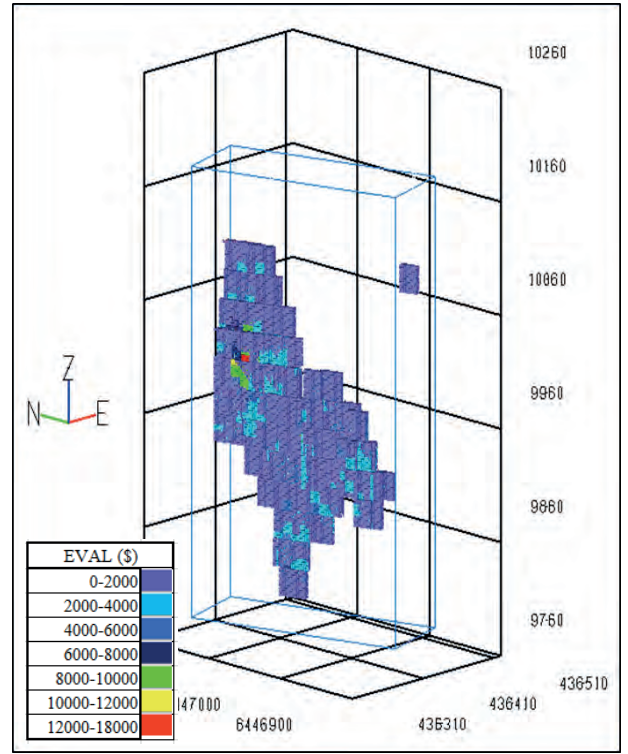
### 3 BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Maksimum Değerli Komşuluk Algoritmasının Uygulanması

Minesight yazılımı içerisinde bulunan MSSTOPE tasarım aracılığıyla uygulaması yapılan bu algoritma, incelenen madenin ekonomik modeli üzerinde çalışmaktadır. Bunun yanında optimizasyon işlerini tamamlayabilmek için kazı arını boyutlarına, blok sayısı cinsinden, ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için X, Y ve Z yönünde sırayla  $6 \times 20 \times 25$  m boyutlarında verilen kazı arınları, blok boyutlarına ( $1 \times 2.5 \times 2.5$  m) bölünmüş ve kazı arınları verilen yönlerde sırayla  $6 \times 8 \times 10$  blok sayısı ile ifade edilmiştir.

Optimizasyon işlemlerinin sonunda kazı arınlarının oluşturacağı bir sınırdan ziyade ekonomik ve fiziksel kısıtları sağlayan bir set blok oluşturulmuştur. Bu blok seti esasında kazı arını sayısının yerine düşünülmüş ve algoritma burada 18 kazı arını oluşturmuştur. Blok setleri, blokların ekonomik değerleri ile birlikte Şekil 3 ile görülebilmektedir. Ayrıca Çizelge 1'de özetlenmiş tasarım sonunda elde edilen bilgilerden de görüleceği gibi, bu sayı madenden alınan bilgilerden daha düşük çıkmıştır. Bunun yanında Çizelge 1 Maksimum Değerli Komşuluk Algoritmasının hesapladığı karın (AUD \$), şirketin sağladığı kazı arını tasarımlarından elde edilen kar ile neredeyse aynı olduğunu göstermektedir.

Algoritmanın uygulanmasıyla yaklaşık 580 932 tonluk bir bölgede kazı arını sınırının tasarlanması düşünülmüştür. Bu değer, şirketin hesaplamalarından biraz daha fazla çıkmıştır. Son olarak algoritma optimizasyon işlemini yaklaşık 2 dakika gibi, şirketin işlemlerine göre çok daha kısa bir sürede bitirmiştir.



Şekil 3. Maksimum Değerli Komşuluk Algoritmasının sonuçlarının üç boyutlu görüntüsü.

Çizelge 1. Maksimum Değerli Komşuluk Algoritmasından ve madenden alınan sonuçlar

Parametre	İncelenen maden	MDK Algoritması
Kazı Arını Sayısı	30	18
Tonaj (t)	340 687	580 932
Kar (\$)	42 826 547	44 998 078
Çözüm süresi (sa:dak:sn)	-	00:01:56

Algoritmanın uygulanması oldukça kolaydır. Bunun yanında madenlerin üretim katlarını yazılımda tanımlayıp, kazı arını sınırının tasarımını bu katlar üzerinde gerçekleştirebilmektedir. Ancak algoritma, pratik madencilik için gereken kazı arını tanımını yapamamaktadır (blok seti oluşturur). Bunun yanında, önceki bölümde anlatılan komşuluk değerlerini her blok için maksimum (optimum) değerle bulunabilse de bunların birleşimden oluşacak tasarımda optimum sonuçları yakalayamamıştır. Çünkü algoritma farklı yönlerden başladığında farklı sonuçlar bulmaktadır. Tüm bu

sebeplerden algoritma sezgisel bir yöntem olarak kalmıştır.

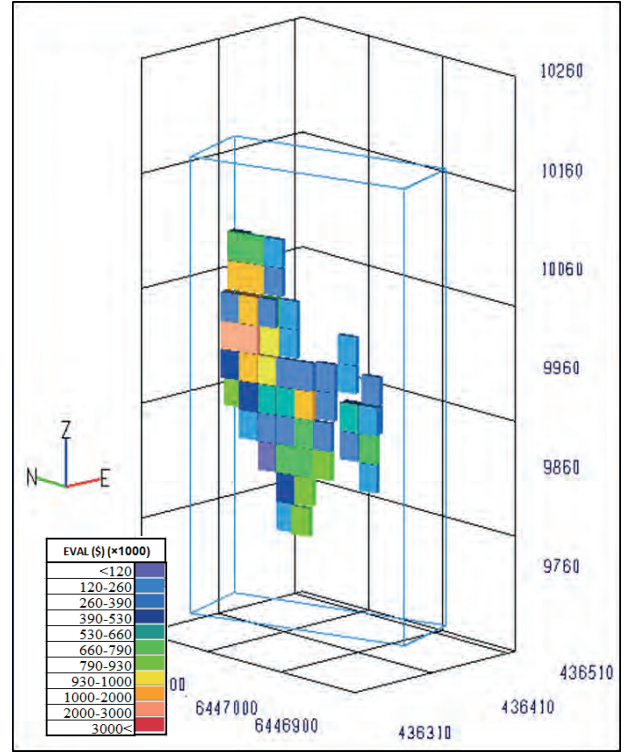
### 3.2 Sandanayake ve Topal sezgisel Yaklaşımının Uygulanması

Sandanayake ve Topal sezgisel yaklaşımı, Visual Studio 2010 da C# nesne yönelimli bilgisayar dili kullanılarak uygulanmıştır. Yaklaşım ayrıca, blok model verisini saklamaya ve geri çağırmaya yardım etmek için Microsoft SQL Server 2008 'i kullanmaktadır. Geliştirilen algoritma, optimizasyon işlemlerini bu yazılımları kullanarak incelenen madenin ekonomik blok modeli üzerinde gerçekleştirmiş, diğer algoritmalar gibi modelin üzerinde tek bir kazı arını boyutu (X, Y ve Z yönünde sırayla 6 × 20 × 25 m) tanımlamıştır. Bunun yanında, algoritmanın değerlendirebileceği topuk tasarımı ve kazı arını şekillendirme senaryoları optimizasyona dâhil edilmemiştir.

Algoritma, incelenen blok model tek boyuttaki bloklardan oluştuğundan blok düzenleme basamağını atlamıştır. Ayrıca ekonomik blok model bu çalışmada zaten girdi olarak kullanıldığından, ikinci basamak (ekonomik model hesaplama) da geçilmiş ve optimizasyon işlemlerine başlanmıştır. Burada öncelikle ekonomik blok model üzerinde, önceki bölümde de anlatıldığı gibi pozitif değerli kazı arınlarını çıkarılmıştır. Algoritma bunların arasından en iyi değeri (ekonomik olarak) veren kazı arını setini bulmak için üç boyutta farklı mekânsal araştırmalar yapmıştır. Yaklaşık 10000 iterasyondan sonra en yüksek karı veren yönelimi (Y, Z, X) yönünde bulmuştur. Bu bilgiler ışığında oluşturulan kazı arınlarının tasarımı, MINESIGHT yazılım aracılığıyla görselleştirilmiş ve Şekil 4'de kazı arınlarının ekonomik değerleri ile birlikte gösterilmiştir.

Sandanayake ve Topal sezgisel yaklaşımının uygulanmasından elde edilen değerler Çizelge 2'de özetlenmiş ve sonuçlar şirketin verileri ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 2 de görüldüğü üzere algoritma, madenden alınan bilgilerden daha fazla olacak şekilde, toplam 64 noktada kazı arını tasarlanmasının optimum olacağını bulmuştur. Ayrıca

çizelge, bu algoritmanın hesapladığı karın, şirketin kar verilerinden yaklaşık olarak %8,71 daha büyük olduğunu ve kazı arınlarının üretim tonajının toplam 434 247 ton (maden verilerinden daha fazla) olarak belirlendiğini göstermektedir. Optimizasyon işlemleri yaklaşık 5 saat gibi oldukça uzun bir sürede tamamlanmış olsa da, bu süre madenden alınan bilgilerden yine de daha kısadır.



Şekil 4. Sandanayake ve Topal yaklaşımı sonuçlarının üç boyutlu görüntüsü.

Çizelge 2. Sandanayake ve Topal sezgisel yaklaşımından ve madenden alınan sonuçlar

Parametre	İncelenen maden	Sandanayake ve Topal yaklaşımı
Kazı Arını Sayısı	30	64
Tonaj (t)	340 687	434 247
Kar (\$)	42 826 547	48 450 122
Çözüm süresi (sa:dak:sn)	-	05:17:00

Sandanayake ve Topal sezgisel yaklaşımının uygulanmasından elde edilen değerler Çizelge 2'de özetlenmiş ve sonuçlar şirketin verileri ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 2 de görüldüğü üzere algoritma, madenden alınan bilgilerden daha fazla olacak şekilde,



toplam 64 noktada kazı arını tasarlanmasının optimum olacağını bulmuştur. Ayrıca çizelge, bu algoritmanın hesapladığı karın, şirketin kar verilerinden yaklaşık olarak %8,71 daha büyük olduğunu ve kazı arınlarının üretim tonajının toplam 434 247 ton (maden verilerinden daha fazla) olarak belirlendiğini göstermektedir. Optimizasyon işlemleri yaklaşık 5 saat gibi oldukça uzun bir sürede tamamlanmış olsa da, bu süre madenden alınan bilgilerden yine de daha kısadır.

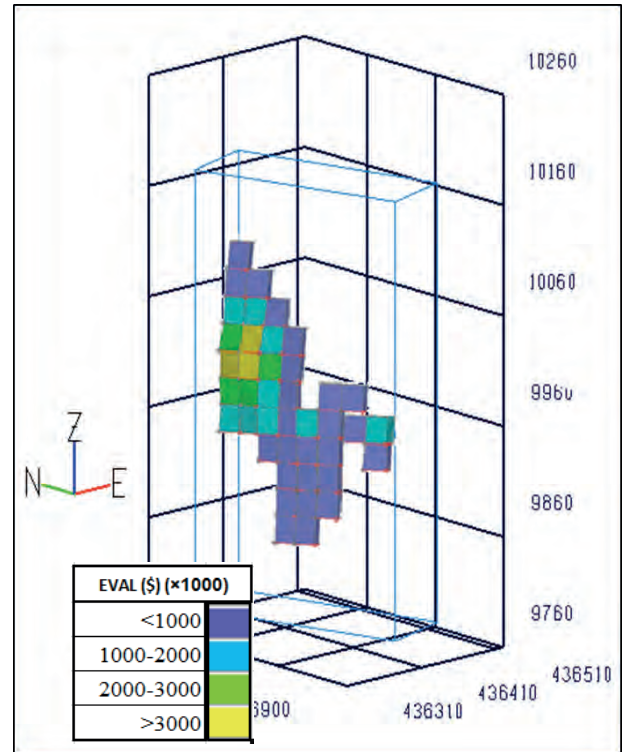
Sandanayake ve Topal'ın geliştirdiği bu algoritma, tasarımlarında hem topukları hem de katları hesaba katarak veya katmayarak sonuçlar elde etmeye çalışmaktadır. Ayrıca hem sabit hem de değişken boyutlarda kazı arınlarını optimizasyon işlemlerine katabilmektedir. Farklı maden senaryolarını tasarımlarında düşünebilen algoritmanın bu çalışma da ki uygulamasında, karşılaştırmada tüm girdilerin aynı olması istendiğinden topuk ve kat tasarımları ele alınmamış ayrıca tek bir kazı arını boyutu kullanılmıştır. Sonuçlar yine de optimuma oldukça yakın çıkmıştır. Buna rağmen yöntem sezgisel olduğundan sonuçların kesinlik taşımadığı bilinmektedir.

### 3.3 MSO (Mineable Shape Optimisier) Tasarım Aracının Uygulanması

İşletilebilir yeraltı maden şekillerinin optimizasyonunu yapmaya çalışan MSO tasarım aracı DATAMINE STUDIO 5D PLANNER (2015) yazılımıyla, incelenen madenin ekonomik blok modeli üzerinde uygulanabilmiştir. Yazılım blok model için farklı optimizasyon yöntemlerini sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında yöntemlerden sınır tenör değerinin optimizasyonu seçilip, bu değer 3,85 g/t a ayarlanmıştır. Bunun yanında önceki bölümlerde anlatılan taslak şekli, modelin döndürülme (kuzeyden 343,59 derece) ve orijin bilgilerini kullanmıştır. Ek olarak, cevherin doğrultu bilgisi YZ (Kuzey) yönünde ayarlanmıştır. Kazı arını boyutları MSO tasarım aracında diğer çalışmalardan farklı olarak, kat ve kesit aralığıyla ifade edilmektir ve bu değerler sırasıyla 25 m ve 20 m olarak ayarlanmıştır. Kazı arını şeklini

kontrol için minimum ve maksimum kazı arını genişliği sırasıyla 6 ve 20 m arasında sınırlandırılmaya çalışılmıştır. Ayrıca tasarımda gerekli minimum ve maksimum dalım açısı  $60^{\circ}$  ve  $120^{\circ}$ , maksimum kenar uzunluğu oranı 2,25, maksimum doğrultu açısı  $45^{\circ}$  ve bu açının maksimum değişimi  $20^{\circ}$  varsayılan değer olarak belirlenmiştir.

Optimizasyon işlemlerinin sonunda oluşturulan kazı arınları Şekil 5'de, kazı arınlarının ekonomik değerleri ile birlikte gösterilmiştir. Tasarım sonunda elde edilen bilgiler de Çizelge 3'de özetlenmiş ve şirketten alınan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çizelge MSO tasarım aracının, verilen blok model üzerinde toplam 41 kazı arını tasarladığını (maden verilerinden fazla) ve bunların toplam karının, şirketin verilerinden yaklaşık olarak %12 daha yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca hesaplamalar sonunda kazı arınlarının, madenden alınan verilerden daha fazla olacak şekilde 406 509 tonluk bir bölgeyi sınırladığı belirtilmiştir. Son olarak MSO tasarımları madenden alınan zaman bilgisiyle karşılaştırılmayacak kadar kısa bir sürede (50 saniye) tamamlamıştır.



Şekil 5. MSO tasarım aracının sonuçlarının üç boyutlu görüntüsü

### Çizelge 3. MSO tasarım aracının kullanılmasından elde edilen ve madenden alınan sonuçlar

Parametre	İncelenen maden	MSO tasarım aracı
Kazı Arını Sayısı	30	41
Tonaj (t)	340 687	406 509
Kar (\$)	42 826 547	50 294 808,84
Çözüm süresi (sa:dak:sn)	-	00:00:50

MSO tasarım aracı kazı arınlarının tasarımında topukların, katların yanı sıra tavan ve taban taşı eğimini, cevher doğrultu ve dalımını (eğimini) ve kazı arını duvarlarında ki (yüzeylerinde ki) seyrelme kısıtlarını hesaba katabilmektedir. Sunulan tasarım aracı farklı maden kısıtlarını dikkate alabiliyor olsa da, bu çalışmada sağlıklı bir karşılaştırma için tüm girdiler ortak olacak şekilde ele alınmıştır. Maden kısıtları diğer tüm çalışmalarla ortak tutulduğunda dahi, kar oranı şirket tarafından sağlanan kazı arını tasarım sonuçlarından oldukça yüksek çıkmıştır. Yinede optimizasyonun en başında bir sınır tenör değerinin belirlenmesi, sonuçların optimum olmasını engellemekte ve yöntemin sezgisel bir yaklaşım olarak kalmasına neden olmaktadır.

### 3.4 Sonuçların Karşılaştırılması

Yeraltı maden tasarımlarının el yordamı yardımıyla yürütülmesi mühendislerin tecrübelerine ve yargılarına dayanmaktadır. Bunun yanında maden yataklarının her biri benzersiz olduğu için, mühendisler kendi planlarını sınırlı bilgi ile yapmak zorunda olduklarından, bazen de belirsizlik ve tutarsızlıktan kaçınmamaktadırlar. El yordamıyla yürütülen kazı arını tasarımları çok uzun zamanlar aldığından, genellikle mühendisler tasarım esnasında olası tüm seçenekleri de dikkate alamamaktadırlar. Bu bilgiler ışığında, çoğu durumda sonuçların optimum olmadığı söylenebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında incelenen optimizasyon çalışmalarının her biri el yordamıyla yapılan tasarımla ve birbirleriyle

karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma öncelikle çalışmaların tümünün el yordamıyla yapılan tasarımların dikkate almadığı bölgeleri de değerlendirdiği ve sonuçlarını optimuma daha yakın hale getirmeye çalıştıkları görülmüştür. Bunun yanında Arakatlı Kazı üretim yönteminde mutlaka belirtilmesi gereken kazı arını sayısı uygulamaların tümünde ortaya konabilmiştir. En yüksek kazı arını sayısı ise 64 kazı arını ile Sandanayake ve Topal yaklaşımdan elde edilmiştir. Ancak bu sayının artması sonuçların daha optimum olduğunu göstermemektedir, çünkü pratik madencilikte bir cevher bölgesi için üretim bölgesinin fazlalığı genellikle istenen bir durum değildir. Kazı arınlarının toplam tonajları da manüel tasarımla ve birbiriyle karşılaştırılmış ve sonuçlar genellikle birbirinden çok da farklı çıkmamıştır.

Ekonomik kar açısından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, el yordamıyla yapılan tasarımın Maksimum Değerli Komşuluk Algoritması ile elde edilen sonuçlara oldukça benzediği ancak diğer çalışmalardan farklı olduğu görülmektedir. Tüm optimizasyon çalışmaları karşılaştırıldığında ise en yüksek ekonomik karı, MSO tasarım aracının verdiği ve bu değer el yordamıyla yapılan tasarımlardan neredeyse %12 daha fazla olduğu görülmüştür. Uygulamaların ekonomik değerlere ilişkin bir karşılaştırması Çizelge 4'de özetlenmiştir.

### Çizelge 0. Uygulamaların ekonomik kar değeri sonuçlarının karşılaştırılması

Uygulanan çalışma	Kar (\$)
Maksimum Değerli Komşuluk Algoritması	44 998 078
Sandanayake ve Topal yaklaşımı	48 450 122
MSO tasarım aracı	50 294 808

El yordamıyla yapılan tasarımların sonuçları yukarıda da belirtildiği üzere aylar sürmüştür. Bunun yanında Sandanayake ve Topal yaklaşımı dışındaki çalışmalar birkaç dakikayı geçmeden optimum olduğunu düşündükleri sonuçları vermişlerdir.

Sandanayake ve Topal yaklaşımı yaklaşık 5 saatlik süreyle en yüksek zamanı harcamıştır. MIP yöntemini kullanan bu yaklaşımda, blok sayısı arttıkça çözüm süresinin de üssel olarak arttığı bilinmektedir.

Pratik maden tasarımlarında kazı arını boyut değişkenliği ve topukların, katların yanı sıra tavan ve taban taşı eğimi, cevher doğrultu ve dalımı (eğimini), kazı arını duvarlarında ki (yüzeylerinde ki) seyrelme kısıtları gibi bir çok parametrenin hesaba katılabilmesi optimizasyon çalışmasının sonuçlarını gerçek optimuma yaklaştırmaktadır. Burada Maksimum Değerli Komşuluk Algoritması kazı arını tasarımlarını diğer parametreleri dikkate almadan yalnızca belirlenen kat seviyelerinde yapabilmektedir. Sandanayake ve Topal yaklaşımı farklı kazı arını boyutlarını, topuk ve kat tasarımlarını dikkate alarak kazı arını sınırı oluşturmaktadır. Son olarak MSO tasarım aracı belirtilen tüm bu tasarım parametrelerini dikkate almaktadır. Bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda optimuma en yakın sonucu MSO tasarım aracının verdiği söylenebilmektedir.

#### 4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kazı arını sınırı optimizasyonu için geliştirilen yöntemlerden bazılarının işletme halindeki bir madene uygulanması, performanslarının incelenmesi ve sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu maksatla seçilen yöntemler sırayla; Maksimum Değerli Komşuluk Algoritması, Topal ve Sandanayake (2015) yaklaşımı ve DATAMINE yazılımının geliştirdiği MSO tasarım aracıdır. Yöntemler yaklaşımlarını tanımlamak için her ne kadar optimizasyon terimini kullansa da, hiçbiri üç boyutta gerçekten optimum sonuç verememekte ve sezgisel birer yöntem olarak kalmaktadırlar.

Aynı verileri kullanarak kazı arını sınırını tasarlamaya çalışan yöntemler arasından en yüksek ekonomik kar MSO tasarım aracılığıyla sağlanmıştır. Ayrıca tasarım esnasında daha fazla jeoteknik ve fiziksel kısıtı hesaba kattığı düşünülürse, optimuma en yakın sonuçları bu tasarım aracının verdiği söylenebilmektedir. Böylece yeraltı

madenciliğinin doğası gereği karmaşık blok modellerin el yordamıyla tasarlanmasındaki zaman ve ekonomik kayıpların önüne geçmede MSO tasarım aracı bir alternatif olarak düşünebilmektedir, ancak yöntem matematiksel kanıtlar içermediğinden yeraltı maden tasarımlarında sadece bir yol gösterici olarak kullanılmalıdır.

Şimdiye kadar sunulan yöntemlerin hiç biri üç boyutta yeraltı maden tasarımları için gerçek optimum çözümler sunamamıştır. Bu yüzden bir maden projesinin ekonomik karı üzerinde direk etkisi olan optimum kazı arını sınırlarının, matematiksel programlamalara ve yazılımlara olan ihtiyacı halen giderilememiştir. Bunun yanında bir yeraltı maden planlama süreci; kazı arını sınırının optimizasyonu, üretimin zaman planlanması ve hazırlık işlemlerinin optimizasyonu sürekli etkileşim halinde olduğundan bu üç alan mutlaka entegre edilmelidir. Entegre edilmiş bir optimizasyonda, sonuçlar tam anlamıyla optimum olup ekonomik kar da maksimum seviyelere ulaşacaktır.

#### KAYNAKLAR

- Alford, C., 1995. Optimisation in underground mine design, 25th Application Of Computers and Operations Research in The Mineral Industry, The Australian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 213-218, Melbourne.
- Alford, C., Hall, B., 2009. Stope optimisation tools for selection of optimum cut-off grade in underground mine design, The Project Evaluation Conference, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 137-44, Melbourne.
- Anonymous, 2014. Datamine Corporate Limited, <http://www.dataminesoftware.com/wp-content/brochures/MSO.pdf>
- Ataee-Pour, M., 2000. A heuristic algorithm to optimise stope boundaries, PhD thesis, University of Wollongong, Australia, pp. (2) 24-60, (3) 18-36.
- Ataee-Pour, M., 2005. A critical survey of the existing stope layout optimization techniques, Journal of Mining Science, 41(5), pp. 447-466.
- Bai, X., Marcotte, D., Simon, R., 2013. Underground stope optimization with network flow method, Computer and Geoscience, (52), pp. 361-371.

- CAE Mining,, 2014. Underground Planning Solutions, <http://www.cae.com/mining/software/underground-planning-solution/>, accessed: 11.11.2016.
- Johnson, T.B., Sharp, W.R., 1971. A three-dimensional dynamic programming method for determining ultimate open pit design, Report of Investigation 7553, U.S. Bureau of Mines, Michigan.
- Little, L., 2012. Simultaneous optimisation of stope layouts and production schedules for long-term underground mine planning, PhD thesis, The University of Queensland, pp.15-38.
- Little J., Knights P., Topal E., 2013. Integrated optimization of underground mine design and scheduling, Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 113, pp. 775–785.
- Musingwini, C., 2016, Presidential Address: Optimization In Underground Mine Planning– Developments And Opportunities, Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 116 (9), pp.809-820.
- Ovanic, J., Young, D. S., 1995. Economic optimisation of stope geometry using separable programming with special branch and bound techniques, Third Canadian Conference on Computer Applications in the Mineral Industry, pp. 129-35, McGill University, Montreal.
- Ovanic J, Young D S, (1999), Economic optimization of open stope geometry, 28th international APCOM symposium pp. 855-862.
- Riddle, JM., 1977. A dynamic programming solution of a block caving mine layout, Proceedings The 14th APCOM Symposium, Society of Mining Engineers-American Institute of Mining, Metallurgy, and Petroleum Engineers, pp. 767-780, New York.
- Sandanayake, D., 2014. Stope Boundary Optimisation in Underground Mining Based on a Heuristic Approach, PhD Thesis, Curtin University.
- Sandanayake D, Topal E, Asad M., 2015, Designing an optimal stope layout for underground mining based on a heuristic algorithm, International Journal of Mining Science and Technology 25, pp. 767–772.
- Sens, J., 2008. Stope boundary optimisation, Bachelor thesis, University of Queensland, Brisbane, pp. 33-40.
- Sens, J., Topal, E., 2009. A New Algorithm for Stope Boundary Optimisation, Ausimm New Leaders Conference, 2009(4), pp. 25-28.
- Topal, E., Sens, J., 2010. A new algorithm for stope boundary optimization, Journal of Coal Science & Engineering, 16 (2), pp. 113-119.
- Walker, S., 2013. Tools to Assist in Planning and Design, Engineering and Mining Journal, pp. 34-39.

# Kararsız Market Koşullarında Dinamik Programlama ile Sınır Tenörleri Eniyilemesi

## *Cut-off Grades Optimization By Means of Dynamic Programming Under Uncertain Market Conditions*

E. Çetin

*Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*

**ÖZET** Sınır tenörleri eniyilemesi, cevher ile yan kayacı ayırıştırma için, maden yataklarının değerlendirilmesinde önemli bir konudur. Ayrıca, paranın zaman değeri ve bununla ilintili fırsat maliyeti dolayısıyla, bir maden yatağından maksimum gelir elde etmek için, işletme ömrü boyunca tek bir sınır tenörü yerine, azalarak değişen bir sınır tenörleri silsilesi uygulaması gerekmektedir. Madencilik ürünleri satış fiyatlarının gelecekteki değerleri bilinemez olduğundan, küresel pazarda bir maden ürününün satış fiyatındaki herhangi bir değişiklik, her türlü ekonomik değerlendirmeyi geçersiz kılar. Ancak, satış fiyatlarının gelecekteki değerleri tahmin edilebilir. Dinamik programlama, sınır tenörleri eniyilemesinde başarıyla kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu çalışma, sınır tenörleri eniyilemesinde dinamik programlama yönteminin kullanımını ve yöntemin madencilik ürünleri satış fiyatlarındaki belirsizlik durumuna uyarlanmasını izah etmektedir. Bu konuda geliştirilen yazılım, kararsız market koşullarında maden yatakları için en iyi sınır tenörleri ve üretim miktarları silsilesini vermektedir. Dinamik programlama yönteminin, bu bağlamda, sınır tenörleri eniyilemesi için çok verimli bir araç olduğu görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** sınır tenörleri; eniyileme; dinamik programlama; kararsız market koşulları

**ABSTRACT** Determination of optimum cut-off grades is a fundamental issue in mineral extraction as it assigns the boundaries between ore and waste over time. Besides, due to the time value of the money and the opportunity cost associated with it, in order to obtain maximum profit from a mineral deposit, it is necessary to apply a series of decreasing order of cut-off grades instead of a single one throughout the operating life. Any change in the selling price of a mineral product on global market will invalidate any economic assessment, as the future values of the selling prices of mining products are unknown. However, the future values of selling prices can be estimated. Dynamic programming is one of the methods used successfully in the optimization of cut-off grades. This study explains the use of dynamic programming methodology and the adaptation of the method to uncertainty in selling prices of mining products in cut-off grades optimization. The software developed in this subject gives the best cut-off grades and production rates for mineral deposits in uncertain market conditions. It is seen that dynamic programming method is a very efficient tool in the optimization of cut-off grades in this context.

**Keywords:** cut-off grades; optimization; dynamic programming; uncertain market conditions

## 1 GİRİŞ

Sınır tenörleri eniyilemesi, maden yataklarının değerlendirilmesini en çok etkileyen faktörlerden birisidir. Maden işletmelerinde, geleneksel olarak, bir sınır tenörü belirlenir ve işletme ömrü boyunca, bu sınır tenöründe cevher üretilir. Ancak, bu tür bir yaklaşım, paranın zaman değerini gözardı etmektedir. Bu yüzden, statik bir sınır tenörü yerine, işletme ömrü boyunca farklı sınır tenörlerinde çalışmak üzerinde akademisyenlerce durulmaktadır. Bugünkü değer maksimizasyonunun ancak azalarak değişen bir sınır tenörleri silsilesi ile mümkün olduğunu ilk olarak Henning (1963) göstermiştir. Kendisi, indirgeme oranının sıfırdan büyük olması durumunda, net bugünkü değer sadece azalarak değişen bir sınır tenörleri politikası ile mümkün olduğu üzerinde durmuştur. Lane (1964) sınır tenörü eniyilemesinin teorik altyapısını oluşturmuş ve sınır tenörü eniyilemesinin ancak azalarak değişen bir sınır tenörleri silsilesi ile mümkün olduğunu göstermiştir. Taylor (1972, 1985), önceki çalışmalarını değerlendirmiş ve Lane'in yaklaşımına benzer bir noktaya varmış, çalışmalarında kapsamlı bir sınır tenörü eniyilemesi teorisi sunmuştur.

Bir maden işletmesinin karı, işletmenin ömrü boyunca tanımlanan bir sınır tenörleri silsilesinin ve buna bağlı üretim miktarının bir fonksiyonudur. Bu silsileye bağlı olarak kar değiştiğinden, en iyi karı veren bir sınır tenörleri silsilesi veya silsileleri bulunabilir. Paranın zaman değeri ve bununla beraber, yüksek tenörlü cevheri çıkarıp daha fazla kar elde etmek dururken düşük tenörlü cevheri çıkarmanın getirdiği fırsat maliyeti, üretimin ilk dönemlerinde yüksek sınır tenörü ile üretim yapılması, sonraki yıllarda daha düşük sınır tenörleri ile üretim yapılmasının avantajlı olduğunu göstermektedir. Bu faktörlerin bilim adamları tarafından farkına varılması, bir çoklarının en iyi bir sınır tenörleri silsilesi tayini konusunda bir takım algoritmalar geliştirmelerine yol açmıştır (Lane, 1964; Dowd, 1976; Cetin & Dowd, 2002). Üretim süresi boyunca sabit bir sınır tenörü ile üretim planlaması, bir madencilik operasyonunda, indirgenmemiş karı maksimize eder. Ancak amaç indirgenmiş karı maksimize etmek ise, üretimin ilk döneminde yüksek, sonraki dönemlerde ise azalarak değişen dinamik bir sınır tenörleri politikası uygulaması gerekir.

Paranın zaman değeri kavramı, finansal analizlerde neden indirgenmiş kar

yaklaşımının kullanıldığını anlamak için çok önemlidir. Bu kavram, paranın zamana bağlı olarak değişen bir faizinin olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda, risk faktörü ile de ilgilidir. İşletmenin ilk dönemlerinde yatırım maliyetini karşılamak, sermayenin geri dönüş riskini azaltacaktır. İnsan ömrü sınırlı olduğu için, sermayenin yahut malın kullanım hakkı konusunda insanlar arasındaki rekabetten dolayı, bir malın yahut sermayenin kullanım hakkını elde etmek bir nimettir. Bu yüzden, bugün elde bulunan bir miktar para her zaman için gelecek bir zamanda elde olacak aynı miktar paradan daha değerlidir. Bu çalışmada iki temel prensipten yola çıkılmıştır. Büyük karlar her zaman küçük karlara tercih edilir ve erken fayda geç faydadan iyidir. Aslında sınır tenörü eniyilemesi konusunda yaklaşımlar çeşitlidir. Özel teşebbüs genelde kar elde etme prensibiyle çalıştığı için, en yüksek karı veren yöntemleri tercih eder. Bu yüzden en iyi sınır tenörleri politikası sonucu, karı artırmak uğruna üretim miktarının azalması bir sorun teşkil etmez. Devletler ise, sadece karı değil, toplumsal faydayı da gözettiklerinden, karlı olanın yanı sıra istihdam yaratan ve maden kaynağını heba etmeden, maksimum kullanmayı gerektiren yöntemleri tercihe daha eğilimlidirler. Bu yüzden, toplumcu yahut devletçi bakış dinamik bir sınır tenörleri politikası yerine, statik bir sınır tenörü uygulamasını, daha az karlı olduğu halde, tercih edebilir.

Bir malın tahmini gelecek değerleri yerine bugünkü satış fiyatının kullanılması, en iyi net bugünkü değere ulaşmayı feda edebilir. Bu nedenle, kullanılacak sınır tenörlerini bulmak için, bir cevherin kararsız satış fiyatlarının algoritmaya eklenmesi gerektiği bu çalışmada göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmanın hedefleri, kararsız market koşullarında en iyi sınır tenörleri silsilesi tayini için, genetik algoritma yardımı ile, genel bir yöntem ve yazılım geliştirmek, ve geliştirilen bu yöntemin performansını değerlendirmektir.

Bu çalışmada amaç, sınır tenörü eniyilemesinin ancak azalarak değişen bir sınır tenörleri silsilesi ile mümkün olduğunu göstermektir. Bunun için, bir maden işletmesi örneği üzerinde dinamik programlama yöntemi uygulanmıştır.

## 2 DİNAMİK PROGRAMLAMA İLE SINIR TENÖRLERİ ENİYİLEMESİ

Dinamik programlama, bir dizi karar verme işlemini eniyileyen bir matematik işlemleri bütünüdür. Temelde, dinamik programlama, problem çözümüne, problemin veya problemin bir kısmının parçalara bölünmesi ve bu parçaların çözülerek, bu çözümlerin depolanması şeklinde bir problem çözüm yaklaşımı sunmaktadır. Bu çözümler, ihtiyaç duyulduğunda, yeniden çözmek yerine, yeniden canlandırılmak suretiyle problemin genel çözümüne eklenerek, nihai çözüme ulaşılmaktadır. Dinamik programlama, sistem analizi alanında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve çok aşamalı karar verme problemlerinde, en iyi bir silsileye karar vermede kullanılabilir. Dinamik programlama, özellikle karar aşamasının zaman periyodunda silsile halinde olan problemlere çok uygundur. Periyotlar birbirine öyle bir bağla bağlıdır ki bir zaman döneminde alınan kararlar sonraki karar verme aşamalarını etkilemektedir. Problem, alt problemlere bölünür ve her bir alt problem için en iyi bir çözüm bulunur, n sayıda karar verme aşamalarına sahip bir problem, n sayıda ve her biri tek bir karar değişkenine sahip, problemlere bölünür. Hesaplama süresi, bir problem içindeki değişkenler sayısına üssel olarak büyürken, alt problemler sayısına doğrusal olarak büyür. Bir problemin tümü sistem ve alt problemler de basamak olarak düşünülebilir. Dinamik programlamada basamaklar, genellikle, bir zaman aralığını temsil eder. Bir sistemin her bir basamağında, problemin çözüm şartlarına karşılık gelen birden fazla durum vardır. Durumlar, tamamlanmamış çözümleri karakterize ederler. Karar verici, her bir basamakta, o basamak için en iyi sonucu veren kararı vermelidir. Bir karar, sistemi bir durumdan diğerine taşır. Bir sistemi bir durumdan diğerine taşıyan her bir aşamaya basamak denir. Dinamik programlama genellikle geriye doğru, yani son durumdan ilk duruma doğru, bir işlemler silsilesi şeklinde uygulanır. Bu geriye doğru endükleme tekniği, son durumdan, bir önceki basamağın durumlarına doğru yapılır.

Dinamik programlama, sınır tenörleri eniyilemesi (Dowd, 1976; Cetin, 2011), üretim planlaması (Dowd & Onur, 1992; Yun & Yegulalp, 1982), en iyi ocak dizaynı (Learch & Grossmann, 1965) gibi madencilik problemlerine uygulanmıştır. Roman (1973), üretim miktarına karar

vermede dinamik programlamayı kullanmış ve Dowd (1976), bunu sınır tenörü ve üretim miktarı tayinine uygulamıştır.

Dinamik programlama ile sınır tenörleri eniyilemesi prensibi şu şekilde formüle edilebilir:

$$R(x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n) = g_1(x_1, y_1) + g_2(x_2, y_2) + \dots + g_n(x_n, y_n) \quad (1)$$

burada;

R: toplam kar,

n: periyot,

$x_n$ : n periyodundaki rezerv miktarı,

$y_n$ : n periyodundaki tenor oranı,

$g_n$ : n periyodundaki kardır.

Burada amaç,

$$x_i \geq 0 \quad \text{ve}$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = x$$

burada;

x: toplam rezervdir.

kısıtlarına bağlı olarak R karını maksimize etmektir. Bu maksimizasyon için temel fonksiyonel eşitlik şu şekilde formüle edilebilir:

$$f_n(x) = \max_{x_n, y_n} [g_n(x_n, y_n) + f_{n-1}(x - x_n)] \quad (2)$$

burada;

$f_n$ : n periyot için kardır.

## 3 KARARSIZ MARKET KOŞULLARI

Sınır tenörleri eniyilemesi için kullanılan girdiler arasında, cevher satış fiyatı en kararsız olanıdır. Küresel pazarda bir cevherin satış fiyatındaki herhangi bir değişiklik, yapılan tüm ekonomik değerlendirmeleri boşa çıkarmış olur. Bu durumda, mevcut piyasa şartlarına göre planların yeniden gözden geçirilmesi, yenilenmesi gerekir. Temelde, kimse fiyatların gelecekte ne yönde değişeceğini bilemez; ancak, tahmin edebilir. Tüm duyarlılık ve risk analizleri, girişimcileri tahmini riskler hakkında bilgilendirmek amacıyla yapılır. Risk faktörü, bir maden işletmesinin riskleri hakkında girişimcilere bir fikir verir, fakat eniyileme hesaplamalarını etkilemez. Ancak, piyasa

fiyatı değişikliklerinden sonra, en iyi yeniden düzenlenmek zorundadır. Duyarlılık ve risk analizleri girişimcilikte karar vermek için iyi araçlar olmalarına rağmen kararsız piyasa koşulları altında en iyi sınır tenörleri politikası hakkında herhangi bir ipucu vermez. Daha iyi bir maden planı yapmak için, en iyi yıllık dinamik sınır tenörleri sorununu çözmek gerekir ve bu da kararsız market koşullarını dikkate almayı gerektirir. Bu durum, bir projenin kabulü veya reddi konusunda karar verme ile ilgili değildir. Ama en iyi sınır tenörlerini mümkün olduğunca en doğru bir şekilde bulmak ile ilgilidir. Bu nedenle, kullanılacak sınır tenörlerini bulmak için, bir cevherin kararsız satış fiyatlarının algoritmaya eklenmesi gerektiği bu çalışmada kabul edilmiştir. En iyi sınır tenörleri silsilesi bulunmadan, en fazla geliri elde etmek mümkün değildir. Bir malın tahmini gelecek değerleri yerine bugünkü satış fiyatının kullanılması, en iyi net bugünkü değere ulaşma hedefini yok edebilir. Geleceğin tahmin edilmesi için geçmişe müracaat edilmesi gerekir. Geçmiş piyasa fiyatları, gelecekteki fiyat tahminleri için yol gösterir. Tahminler doğası gereği deterministik veya stokastik olabilir. Bu yapılırken, yakın geçmişe, uzak geçmişten daha fazla ağırlık verilmelidir.

#### 4 KARARSIZ MARKET KOŞULLARINDA DİNAMİK PROGRAMLAMA İLE SINIR TENÖRLERİ ENİYİLEMESİ

Dinamik programlama ile sınır tenörleri ve üretim oranları tayininde, materyali çıkarma veya yerinde bırakma ile ilgili karar vermede kullanılacak tonaj aralığı tarafından belirlenen tükenme oranları tanımlanır. Her bir yıl için en iyi tükenme oranı bulunur.

Bu hususta temel formülasyonlar, 1 ve 2 numaralı denklemlerde verilmiştir.

Satış fiyatı, algoritmaya stokastik olarak eklenmiştir. Satış fiyatlarını algoritmaya eklemek için üssel basamaklar yöntemi kullanılmıştır. Her bir basamak, algoritmada eşit ağırlığa sahiptir. Daha sonra, tahmini değeri seçmek için Monte Carlo

Simülasyonu gerçekleştirilmektedir. Algoritmaya eklenecek olan her bir basamak için toplam basamak yıl sayıları, aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$$Y = \sum_{k=0}^n 2^k \quad (3)$$

burada;

Y : basamağa dahil edilecek geçmiş yıl sayısı.

n : basamak sayısı.

$2^0$  : bu yılın cari satış fiyatıdır.

Geçmiş satış fiyatları verisi girilirken, o yıla ait cari fiyatlar yerine, mevcut yılın sabit fiyatları kullanılmalıdır. Kullanılan para biriminin enflasyon etkisi giderilmelidir. Sonunda, simülasyon sonucu elde edilen satış fiyatlarının ortalama değeri algoritmaya eklenir. Stokastik fiyatların algoritmaya eklenmesinden sonra, Lane (1964) 'in sınır tenörleri denklemi aşağıdaki gibi olur:

$$v = (\mu_\delta - k) * x * y * a - x * h - m - (f + F) * t \quad (4)$$

burada;

v: net bugünkü değer,

$\mu_\delta$ : cevherin stokastik birim satış fiyatları ortalaması,

p: cevherin birim satış fiyatı,

k: rafineri ve/veya pazarlama birim değişken maliyet,

x: cevher/toplam rezerv oranı,

y: rafineri cevher kazanım oranı,

a: ortalama tenör,

h: cevher işleme birim değişken maliyet,

m: maden işletme birim değişken maliyet,

f: sabit maliyet,

F: fırsat maliyeti,

t: maden ömrüdür.

Bu konuda geliştirilen bilgisayar programı C++ yazılım dili kodları ile geliştirilmiştir. Bu program, kuramsal bir maden yatağı üzerinde denenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

#### 5 ÖRNEK ÇALIŞMA

Sınır tenörü eniyilemesi ile ilgili geliştirilen program, kuramsal bir bakır

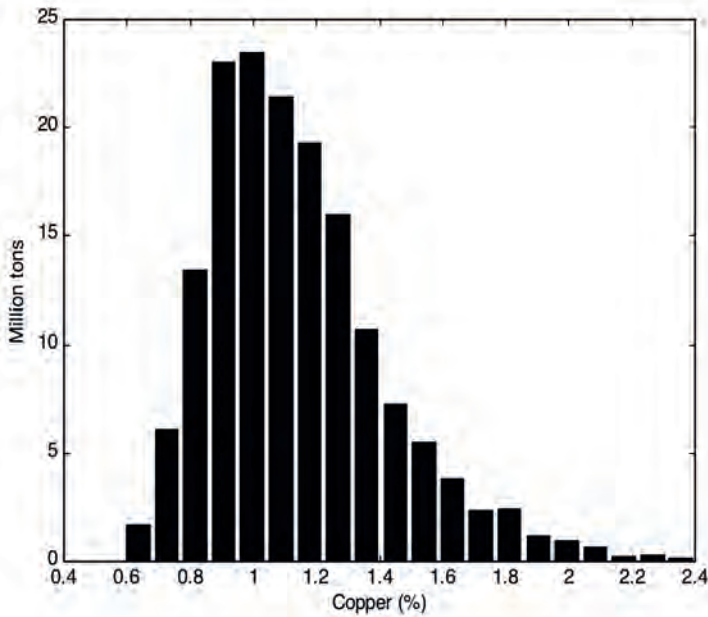


maden yatağına uygulanmıştır. Yatağın tenör-tonaj dağılımı Şekil 1'de, ilgili teknik ve ekonomik veriler Tablo 1'de görülmektedir. En iyi sınır tenörü politikasını gösteren program sonuçları Tablo 2'te verilmiştir.

Her yıl için 466 farklı sınır tenörü ve 61 farklı tükenme oranı, eniyi sınır tenörleri silsilesine karar vermek için araştırılmıştır.

Geçmiş yıllara ait cevher satış fiyatları cari fiyatla değil, bu yılın sabit fiyatlarıyla hesaplamalara dahil edilmiştir.

Madencilik işlemi 15.3 yılda sonlanacaktır. Stokastik satış fiyatları ortalaması 5 682 \$ iken, toplam indirgenmiş kar 2 623 870 000 \$ olmaktadır. program 1 CPU saniyede sonuç vermektedir.



Şekil 1 Bakır yatağı için tenör-tonaj dağılımı.

Tablo 1 Teknik ve ekonomik veriler.

Tanım	Değer
Sınır tenörleri alt sınırı (%)	0.635
Sınır tenörleri üst sınırı (%)	1.1
Sınır tenörleri karar aralığı (%)	0.001
Maden işletme kapasitesi (yılıda ton)	13 000 000
Cevher İşleme kapasitesi (yılıda ton)	10 000 000
Üretim oranı karar aralığı (yılıda ton)	50 000
Pazarlama/rafineri kapasitesi (yılıda ton)	130 000
Bakır cari satış fiyatı (ton başına \$)	4638
Geçen yıl cevher satış fiyatı (ton başına \$)	6454
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	7348
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	8224
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	7964
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	9948
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	7707
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	3418
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	7580
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	7854
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	5530

Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	3939
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	2836
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	2097
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	1970
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	2549
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	2510
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	2145
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	2602
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	3420
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	4538
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	4766
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	2826
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	3735
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	3837
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	4546
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	4622
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	7004
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	5980
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	2878
Bir önceki yıl satış fiyatı (ton başına \$)	3064
Maden işletme maliyeti (ton başına \$)	2.4
Cevher işleme maliyeti (ton başına \$)	9.6
Pazarlama/rafineri maliyeti (ton başına \$)	1500
Sabit maliyet (yıllık \$)	2 500 000
Cevher kazanım oranı (%)	92
İndirgeme oranı (%)	10

Tablo 2 Örnek çalışma sonucu. Toplam indirgenmiş kar 2 623 870 000 \$.

Yıl	Sınır tenörü(%)	Kar (ton)	İndirgenmiş kar (ton)	Tükenme (ton)	Üretim (ton)	Ürün (ton)
1	0.932	356090979	323719071	12100000	9998921	115643
2	0.904	351038204	290114218	11500000	9997717	114088
3	0.879	348270393	261660701	11200000	9998240	113255
4	0.857	345790949	236179871	10950000	9999905	112523
5	0.814	340742612	211574353	10500000	9999519	111056
6	0.792	339508218	191643538	10400000	9999829	110704
7	0.747	336765709	172814058	10200000	9999195	109932
8	0.720	335283499	156412227	10100000	9999842	109522
9	0.678	334462929	141844931	10050000	9999582	109297
10	0.635	333572029	128606457	10000000	10000000	109056
11	0.635	333572029	116914961	10000000	10000000	109056
12	0.635	333572029	106286329	10000000	10000000	109056
13	0.635	333572029	96623935	10000000	10000000	109056
14	0.635	333572029	87839941	10000000	10000000	109056
15	0.635	333572029	79854492	10000000	10000000	109056
16	0.635	100071609	23281063	3000000	3000000	32717

En iyi sınır tenörleri ve tükenme oranları işletme ömrü boyunca azalarak değişmektedir. Toplam 466 farklı sınır tenörü denenmiştir. Tabloda (Tablo 2) yer alan sonuçlara göre, madencilik operasyonu 15,3 yıl sürmüştür. Monte Carlo simülasyonu sonucu elde edilen stokastik tahmini satış fiyatları ortalaması 5 665 ABD Doları olmuş ve toplam indirgenmiş kar 2,623,870,000 ABD Doları olmuştur. Sınır tenörleri ve

dolayısıyla maden yatağı tükenme hızı işletme ömrü boyunca azalarak değişmiştir. Sınır tenörleri %0.932'den başlayarak, 15 yıl civarında %0,635'e kadar düşmüştür. Azalarak değişen bir sınır tenörleri silsilesi elde edilmiştir.

Bu yazıda tanımlanan çalışmanın amacı, metalik maden yataklarının ekonomik olarak işletilmeleri için gerekli olan sınır tenörleri eniyileme için pratik bir yöntem geliştirmektir. Örnek çalışma sonuçları bu konuda iyi sonuçlar vermiştir ve dinamik programlama yönteminin madencilik sektöründe eniyileme amaçlı kullanımının yaygınlaşması yönünde yol göstericidir.

## 6 SONUÇLAR

Bu yazıda tanımlanan çalışmanın amacı, metalik maden yataklarının ekonomik olarak işletilmeleri için gerekli olan sınır tenörleri eniyileme için pratik bir yöntem geliştirmektir. Örnek çalışma sonuçları, bu konuda iyi sonuçlar vermiştir ve dinamik programlama yönteminin madencilik sektöründe eniyileme amaçlı kullanımının yaygınlaşması yönünde yol göstericidir.

Bu çalışma çerçevesinde, stokastik tahmini satış fiyatı uygulanarak dinamik programlama yöntemi ile sınır tenörleri eniyilemesi ilk kez uygulanmaktadır ve kararsız market koşullarında dinamik programlama ile optimum sınır tenörleri tayininde yapılan ilk çalışmadır.

Cevher satış fiyatları kararsız olduğundan, tahmin edilmelidir. Bunun yapılmaması ve madencilik ürünlerinin mevcut satış fiyatlarının kullanılması, maden yataklarının verimsiz değerlendirilmelerine yol açabilir. Bu nedenle, satış fiyatlarının gelecek değerlerinin tahmini yapılmalı ve sınır tenörleri eniyilemesi bu tahmini değerlere göre yapılmalıdır. Bu çalışma, en iyi sınır tenörlerinin belirlenmesinde cari satış fiyatı kullanılarak yapılan geleneksel yaklaşımları yenilemiş ve bu konuda Lane'in Algoritmasını geliştirmiştir.

## KAYNAKLAR

Cetin, E., and Dowd, P. A., 2002. "The use of genetic algorithms for multiple cut-off grade optimisation", *Proceedings of the 30th International Symposium on the Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industries*, Littleton, Colorado, USA.

- Cetin E. and Dowd P. A., 2011. Multi Mineral Cut-off Grade Optimisation By Means of Dynamic Programming, *Sustainable Production and Consumption of Mineral Resources*, Krakow, Poland.
- Dowd P. A., 1976. Application of dynamic and stochastic programming to optimise cut-off grades and production rates, *Trans. Instn. Min. Metall.*, (Section A: Mining Industry), 81, 160-179.
- Dowd, P A and Onur, A H, 1992. Optimising Open Pit Design and Sequencing. *Proceedings of 23rd Symposium on Applications of Computer and Operations Research in the Mineral Industry*, pp 411-422.
- Henning, UL F, 1963. Calculation of Cut-off Grade. *Canadian Mining Journal*, vol 84. pp54-57
- Lane KF, 1964. Choosing the Optimum Cutoff Grade. *Colorado School of Mines Quarterly*, 59, 811-829.
- Lerchs, H and Grossmann, I F, 1965. Optimum design of open pit mines. *CIM Bulletin*, vol 58. pp 47-54.
- Roman R J, 1973. The Use of Dynamic Programming for Determining Mine-mill Production Schedules, *Proceedings of 10th Symposium on Applications of Computer and Operations Research in the Mineral Industry*, Johannesburg, pp 165-170.
- Taylor H K, 1972. General background theory of Cut-off Grades. *Trans Instn Min Metall*, vol 81. ppA160-A179.
- Taylor H K, 1985. Cut-off Grades - some further reflections *Trans Instn Min Metall* vol 96. pp A204-A216.
- Yun, Q and Yegulalp, T, 1982. Optimum scheduling of overburden removal in open pit mines. *CIM Bulletin*, vol 75. no 848. pp 80-83.

# Madencilik Faaliyetleri İzleme ve Otomasyon Sistemi

## *Monitoring and Automation System in Mining*

A.E. Tercan, B. Ünver, M.A. Hindistan  
*Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara*

S. Ural  
*Hacettepe Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Ankara*

S. Gazel, A. Hadımoğulları  
*Netcad Yazılım A.Ş.*

**ÖZET** Madenler, benzeri olmayan özelliklerinden dolayı diğer doğal kaynaklardan ayrılır. Bu özelliklerden en başta geleni madenlerin üretildiğinde bir daha yerine konulamayan varlıklar olmasıdır. Bu nedenle madenler, üretilmeden önce günümüz madencilik bilim ve teknolojisine uygun olarak projelendirilmelidir. Madenlerin ikinci benzersiz özelliği ise her madenin kalitesi, jeolojik ve geometrik yapısı bakımından birbirlerinden farklı oluşudur. Bu nedenle şablon bir maden projesi hazırlayıp bunu her madene uygulamak mümkün değildir. Diğer bir özellik madenciliğin dinamik bir faaliyet olması ve bundan dolayı başta geliştirilen bir maden projesinin sürekli izlenmesi ve zamanla değişen şartlara göre yenilenmesi gerekliliğidir.

Belirsizliğin ve değişkenliğin bu kadar yüksek olduğu bir ortamda maden işletmelerindeki faaliyetleri geleneksel yöntemlerle kontrol etmek oldukça zor ve zaman alıcı bir iştir. Bu nedenle madenlerin projeye uygunluğunun, iş güvenliğinin ve çevreye etkisinin hızlı ve etkin bir şekilde denetlenebilmesi için gelişkin bir üretim izleme ve otomasyon sistemine gereksinim vardır. Bu bildiride böyle bir sistemin gereksinimleri tespit edilmekte ve temel ilkeleri verilmektedir.

**ABSTRACT** Mines differ from other natural resources due to their unique characteristics. The leading one of these characteristics is that mineral deposits are non-renewable assets. For this reason mining projects of mineral deposits must be made in accordance with modern mining science and technology before extraction. The second unique property of mining is that each mineral deposit is different from others in terms of quality, geologic and geometric structure. Therefore a template mining project prepared can not be applied to every mineral resource. The third property is that mining is dynamic operation and a mining project developed in the beginning should be monitored and updated depending on conditions changing in time.

In an area where uncertainty and variability are so high, it is very difficult and time-consuming to control mining operations by traditional methods. Therefore there is a room for a rapid and effective mining monitoring and automation system in order to control compliance of mining operation to the project, occupational safety and environmental impact. In this paper requirements of such a system are established and the basic principles are given.

## 1 GİRİŞ

Ülkemizde maden kanunu kapsamında faaliyet gösteren binlerce maden işletmesi bulunmaktadır. Bu işletmelerin büyük bir

çoğunluğunun faaliyetleri etkin bir şekilde denetlenememektedir. Geleneksel ölçüm ve kontrol yöntemleri ile layıkıyla yapılacak bir denetleme haftalar nispetinde uzun zaman

almaktadır. Bu nedenle takip ve kontrol edilmesi günümüz koşullarında neredeyse imkânsız olan, özellikle yerüstü maden işletmelerinin projeye uygunluklarının hızlı ve etkin bir şekilde denetlenebilmesini sağlayan bir sistemin geliştirilmesine gereksinim vardır. Bu bildiri, MADİOS (*Madencilikte Üretim İzleme ve Otomasyon Sistemi*) adlı bir yazılımın geliştirilmesi sürecinde edinilen deneyimlere dayanmaktadır. Bununla birlikte burada belirtilen bir çok genel kural diğer yazılım platformlarına da uygulanabilir.

Dünyada maden üretim faaliyetlerinin izlenmesi ve otomasyonu amacıyla kullanılan sistemler vardır. Örneğin Tacmin Aerialsurvey (2017) bunlardan biridir. Bununla birlikte bu tür sistemlerin çıktı formatlarının ülkemiz standartları ile uyumlu olmaması ve izleme sürecinde ölçümlerin devamlı suretle ve uzun bir süre boyunca yapılması yurtdışı menşeli sistemlerin kullanımını kısıtlamaktadır.

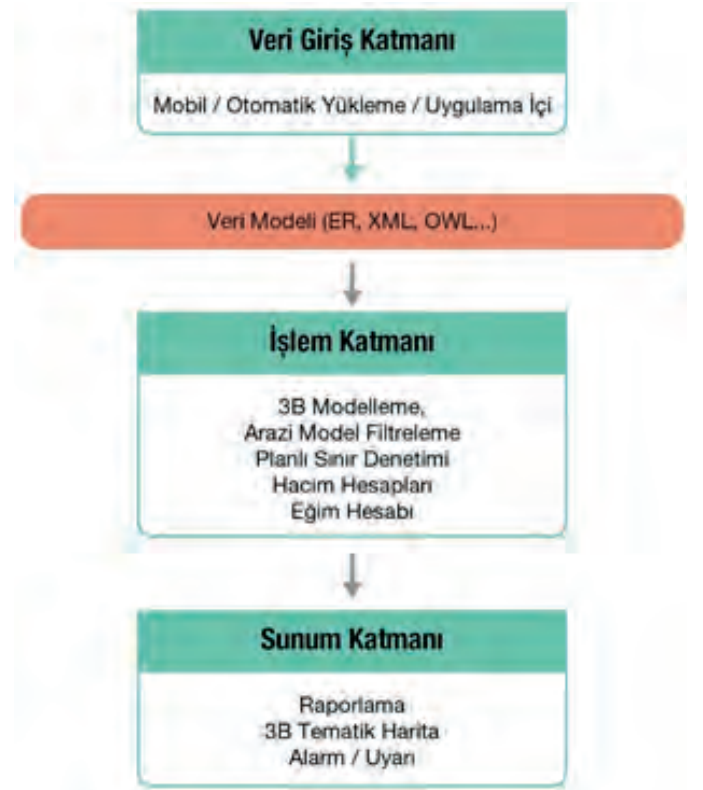
Bu bildirin amacı maden üretim faaliyetlerinin izlenmesi ve otomasyonu amacıyla geliştirilmekte olan bir sistemin temel gereksinimlerini ortaya koymak ve ilkelerini belirlemektir. Bu amaçla önce sistem tanıtılmış, sistemin katmanları hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiş ve her bir katmanla ilgili görsel uygulamalar sunulmuştur.

## 2 SİSTEM

Yerüstü ya da yer altı madenciliği sonucunda topoğrafya önemli ölçüde değişir. Maden üretim faaliyetlerinin izleme ve otomasyonuna ilişkin sistem, temel olarak bu değişimlerin etkin ve hızlı bir şekilde takip ve kontrolüne dayanmalıdır. Takip edilecek faaliyetler genel olarak; ocak kazısı ve pası dökümü sonucu oluşan kübaj değişimini, şevdeki hareketlerin izlenerek duraylılık koşullarının kontrol edilmesini ve üretime bağlı olarak tasman oluşumunun izlenmesini içerir. Ele alınacak problem, basit olarak iki farklı zamanda ölçülen verilerden yüzeyler oluşturulması ve bu yüzeyler arasındaki hacim ve konum değişimlerinin belirlenmesidir. Şev duraylılığının izlenmesi

her türlü kazı sonrası meydana gelen şevleri içermekte olup doğal şevler de takip edilebilir. Ayrıca böyle bir sistem ile maden işletmesindeki her türlü stok kontrolü ve izlemesi yapılabilir. Madenler, 3B yazılımlar kullanılarak projelendirildiği için arazideki koşulların projeye uygunluğu kolayca tespit edilebilir.

Dolayısıyla maden üretim izleme ve otomasyonu amacıyla geliştirilecek bir sistemin veri giriş ve yönetim katmanı, veri işleme katmanı ve sunum katmanı olmak üzere üç katmandan oluşması gerekir (Şekil 1).



Şekil 1. Sistem katmanları.

## 3 SİSTEM KATMANLARI

### 3.1 Veri Edinimi

Veriler, temel olarak topoğrafyaya ait 3B (X, Y, Z) koordinatlardan oluşur. Bu veriler, total station, küresel navigasyon uydu sistemi (GNSS), yersel ve hava fotogrametrisi, LiDAR, yersel lazer tarama, vb. kaynaklardan elde edilebilir. Özellikle fotogrametri, LiDAR, ya da yersel lazer tarama ile elde edilen verilerde (nokta bulutu) nokta sıklığı diğer daha geleneksel yöntemlere göre çok daha fazladır. Veri

toplama yöntemine göre elde edilen verilerin konumsal doğrulukları da farklılık göstermektedir (Hugenholtz vd. 2015).

Topografik verinin elde edilmesinde GNSS sistemleri kullanıldığında, nokta koordinatları bir kullanıcının arazi üzerinde bir GNSS alıcısını koordinatı elde edilmek istenen her noktada dolaştırması ile elde edilir.

Fotogrametrik yöntemde, nokta koordinatları çeşitli platformlardan (uçak, helikopter, insansız hava aracı) ya da yerden çekilen stereoskopik fotoğraf çiftleri ve yer kontrol noktaları kullanılarak, görüntü eşleştirme yöntemleri ile, oluşturulan fotogrametrik model üzerinden hesaplanır. (Kraus 2011).

LiDAR sistemleri kullanıldığında ise, fotogrametrik yöntemde olduğu gibi bir hava platformu üzerinde GNSS ve INS (Inertial Navigation System) ile doğrudan konumlandırması yapılan LiDAR alıcısının yeryüzüne gönderdiği yönlendirilmiş lazer ışığı ile mesafe ölçümlerine dayanarak topoğrafik ölçümler gerçekleştirilir (Shan ve Toth 2009). Yersel lazer tarayıcı sistemlerde de benzer prensiple çalışan lazer alıcıları bu sefer yerde konumu bilinen sabit noktalar üzerine konumlandırılarak yapılan mesafe ölçümleri kullanılır (Vosselman ve Maas 2010).

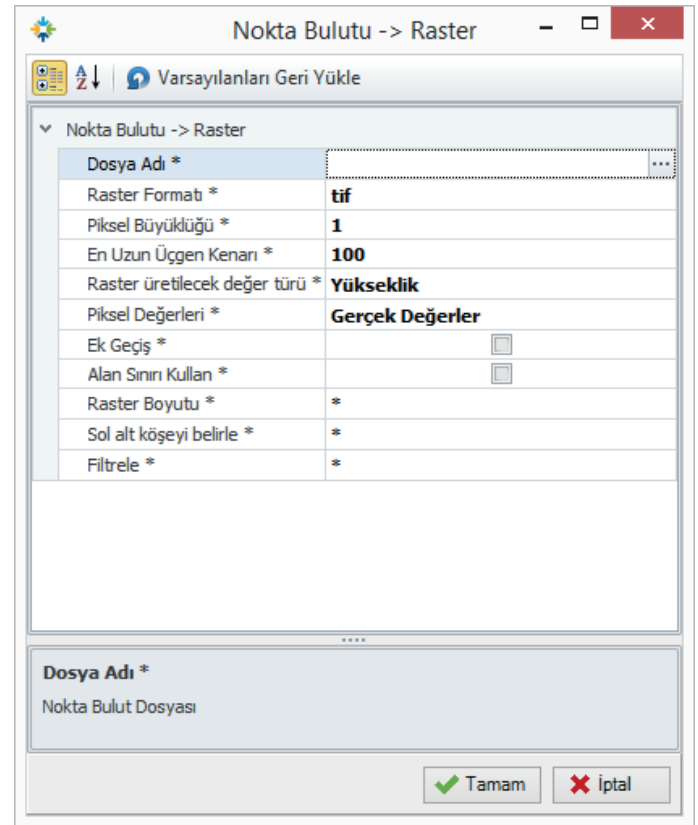
Nokta koordinatları elde edildikten sonra veri toplama yöntemine ve veri kalitesine uygun olarak seçilecek algoritmalar ile sayısal arazi modelleri elde edilir. Son ürün olarak elde edilecek sayısal arazi modelinin doğruluğu kullanılan algoritmaların özelliklerine göre farklılık gösterir (Bater ve Coops 2009).

### 3.2 Veri Girişi

Veri girişi katmanı, veri giriş ve yönetimi ve ayrıca veri modeli modülünden ibaret olmalıdır. Veri tipleri sabit, değişken, ölçülen ya da hesaplanan olabilir.

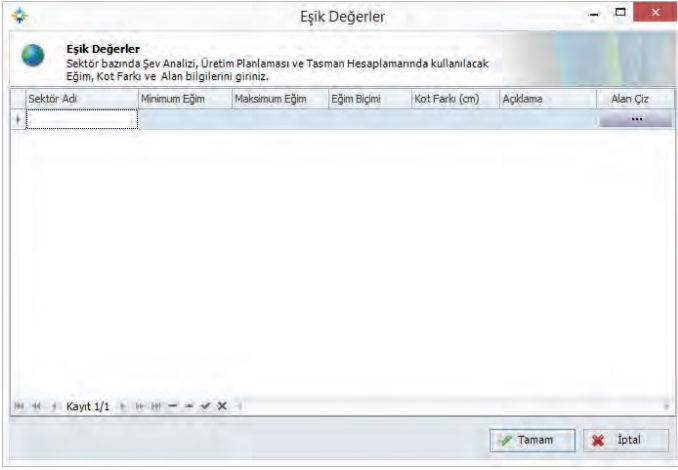
Nokta bulutu verisinin okutulması için bir arayüzün geliştirilmesi gerekir. Nokta bulutu verileri oldukça hacimli veriler olduğu için sistemde performans, kapasite ve bellek sorunlarına yol açabilir. Bu nedenle nokta

bulutu verilerini raster verilere dönüştürmek ve buna uygun bir arayüz geliştirmek, hem veriyi saklama ve kullanma, hem de raster verinin düzenli yapısı nedeniyle, gerekli hesaplama ve analizlerin daha hızlı yapılmasında kolaylık sağlamaktadır. Bu arayüz, raster formatı, piksel büyüklüğü, en uzun üçgen kenarı ve öznetelik türü gibi parametreleri içerir. Nokta bulutu verilerinin okutulmasına ilişkin bir örnek Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Nokta bulutu veri girişi.

Veri girişi ve yönetimi modülü, nokta bulutu verileri yanında uygulama sahasına ilişkin uyarı amacıyla eşik değerlerin girilmesini gerektirir. Kübajda saha tanımı, şevde minimum, maksimum eğim ve eğimin biçimi ve tasmanda ise kot farkı belirtilmelidir. Eşik değerlerin okutulmasına ilişkin bir örnek Şekil 3’de verilmektedir.



Şekil 3. Eşik değerler giriş ekranı.

Veri modeli çalışmalarında dönemsel izleme yapılan kübaj, şev ve tasmana ilişkin değişim ve eşik değerlerin geriye dönük arşivsel izlemesini sağlayacak bir veri tabanı oluşturulmalıdır. İzleme sürecini desteklemek amacıyla veri toplama işlemi gerçekleştirilmelidir. Bunun için mobil ya da mobil olmayan ortamlardan faydalanılabilir. Resim, ses ve metin formatlı dosyalar bu amaçla kullanılabilir. Bunun için sistemin veri paketleme, çevrim-dışı çalışabilme, paket açma ve veri gönderimi gibi işlemleri gerçekleştirmesi gerekir. Mobil uygulamasına ilişkin bir örnek Şekil 4’de verilmiştir.



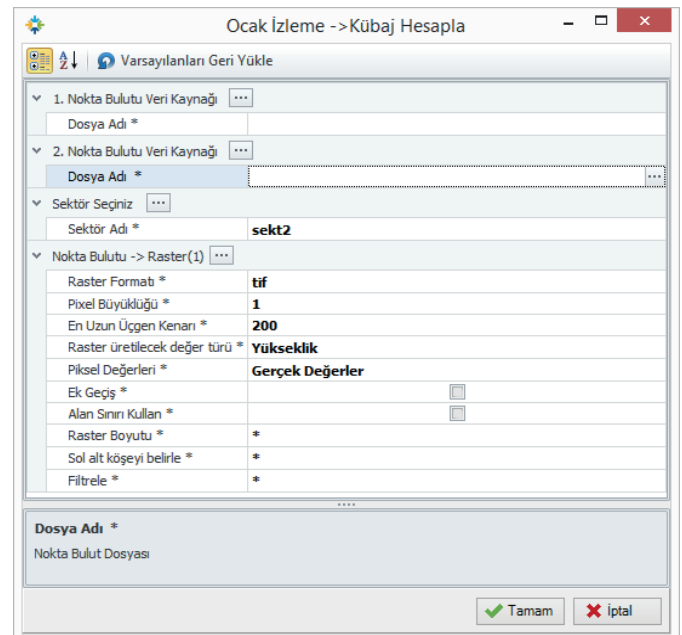
Şekil 4. Veri toplamada mobil uygulama.

### 3.3 Veri İşleme Katmanı

Bu katman, sisteme girilen verilerin izleme amacıyla işlenmesine dayanır. Bu işler üretim miktarı ve planlara uygunluğun izlenmesi, kübaj ve tonajın hesaplanması, şevlerin ve pasa harmanlarının izlenmesi, stoklu çalışan tesislere (termik santral, karayolu şantiyesi vb) ait alanlarda stok kontrolü ve yer altı üretimi sonucu yerüstünde oluşan tasmanın izlenmesini içerir. Kübaj hesaplama, şev izleme ve tasman izlemeye ilişkin örnekler sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmektedir.

### 3.4 Sunum Katmanı

Bu katman, kullanıcının değerlendirmesi amacıyla raporlar üreten bir katmandır. Bu raporlar kübaj, şev ve tasman hesaplama sonuçlarını, bu sonuçların projeye uygunluklarının testini, iş güvenliği eşiklerine uygun olmayan durumların raporlanmasını, kullanıcı güdümünde uyarıların yönetilmesini, üretim ile ilgili 2B/3B tematik haritaların oluşturulmasını, değişimlerin farklı zamanlara bağlı olarak raporlanmasını, ruhsat, kaynak, rezerv ve imalata ilişkin planlanan sınırların projeye uygunluğunun kontrolünü içermelidir. Tasman, şev ve kübaj raporlamasına ilişkin örnekler sırasıyla Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 5. Kübaj hesaplama örneği.

Ocak İzleme -> Şev Analizi

Varsayılanları Geri Yükle

Nokta Bulutu -> Raster

Dosya Adı *	
Raster Formatı *	tif
Pixel Büyüklüğü *	1
En Uzun Üçgen Kenarı *	100
Raster üretilecek değer türü *	Yükseklik
Piksel Değerleri *	Gerçek Değerler
Ek Geçiş *	<input type="checkbox"/>
Alan Sınırı Kullan *	<input type="checkbox"/>
Raster Boyutu *	*
Sol alt köşeyi belirle *	*
Filtrele *	*

Sektör Seçiniz

Sektör Adı \*

Çıktı Ayarları

Dosya Netcad'e Yüklensin \*

3D'de Göster

Dosya Adı \*

Nokta Bulut Dosyası

Tamam İptal

Şekil 6. Şev izleme örneği.

Ocak İzleme -> Tasman Durumu

Varsayılanları Geri Yükle

1. Nokta Bulutu Veri Kaynağı

Dosya Adı \*

2. Nokta Bulutu Veri Kaynağı

Dosya Adı \*

Sektör Seçiniz

Sektör Adı \*

Nokta Bulutu -> Raster

Raster Formatı *	tif
Pixel Büyüklüğü *	1
En Uzun Üçgen Kenarı *	100
Raster üretilecek değer türü *	Yükseklik
Piksel Değerleri *	Gerçek Değerler
Ek Geçiş *	<input type="checkbox"/>
Alan Sınırı Kullan *	<input type="checkbox"/>
Raster Boyutu *	*
Sol alt köşeyi belirle *	*
Filtrele *	*

Raster Sakla

Dosya Netcad'e Yüklensin \*

3D'de Göster

Tamam İptal

Şekil 7. Tasman izleme örneği.

Proje Sorgulama

Sayıda 10 Kayıt Göster

Proje No	Proje Adı	Proje Türü	Kurum Adı	Müşteri Kurum Adı	Proje Başlama Tarihi	Proje Bitiş Tarihi	Açıklama	Ruhsat Veri (İç-Mevki)	Ruhsat Paltası
1	KTH		NETCAD		5.9.2016	17.4.190			

Sayıda 10 Kayıt Göster

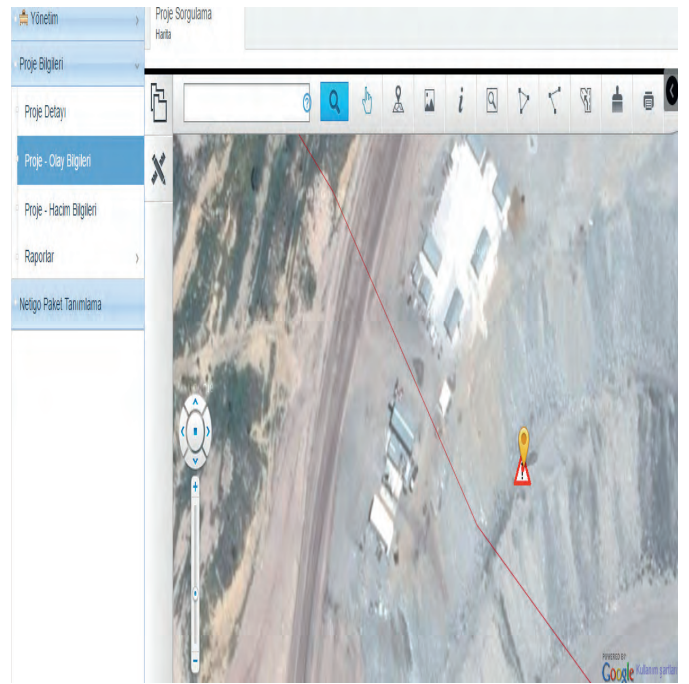
Sektör Adı	Minimum Ejim (%)	Maksimum Ejim (%)	Ejim Açıklaması	Bilgi Kartı
Sektör 1	10	20		Bilgi Kartı

Sayıda 10 Kayıt Göster

Olay No	Alarm Olay Durumu	Tarih	Açıklama	Bilgi Kartı	Harita
3	Açık	6.9.2016 00:00:00	45 derecelik Ejim Var	Bilgi Kartı	Harita

1 Kayıt 1 - 1 Arası Kayıtlar

Şekil 8. Tasman raporu örneği.



Şekil 9. Şev raporu örneği.

Proje - Hacim

Sayıda 10 Kayıt Göster

Proje No	Proje Adı	Proje Türü
1	KTH	

Sayıda 10 Kayıt Göster

Sektör Adı	Bilgi Kartı
Sektör 1	Bilgi Kartı

Sayıda 10 Kayıt Göster

Tarih	Dolgu Hacmi	Kazı Hacmi
11.8.2016 00:00:00	500000	200000
Toplam = 500000		Toplam = 200000

Şekil 10. Kübaj raporu örneği.

## SONUÇLAR

Maden üretiminin izlenmesi ve otomasyonu, işletmelerin hızlı ve etkin bir şekilde kontrolüne olanak tanır. Bu sayede maden işletmeleri verimli ve güvenilir çalışma koşullarında üretim yaparak can ve mal kayıpları engellenebilir. Ayrıca madencilik uygulamalarına ait sonuç raporlarının ilgili kurumlar tarafından belirlenmiş standartları olmasına karşın toplanan veriler ile ilgili bir model yoktur. Böyle bir sistem ile standart bir veri modeli tanıplanıp bu model ulusal bir model haline dönüştürülebilir.

Böyle bir sistemin geliştirilmesi ülkemiz madenciliği ve ekonomisi açısından son derece önemli bir kazanım olacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Sanayi Ar-Ge Projeleri kapsamında 3150551 proje numarası ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Bater C. W. and Coops N.C., 2009. Evaluating error associated with lidar-derived DEM interpolation. *Computers & Geosciences*, 35(2); 289–300.
- Hugenholtz C.H., Walker J., Brown O. and Myshak S., 2015. Earthwork Volumetrics with an Unmanned Aerial Vehicle and Softcopy Photogrammetry. *Journal of Surveying Engineering*, 141(1).
- Kraus K. 2011. *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans*. Berlin, Boston: De Gruyter.
- Shan J. and Toth C.K. (Eds.), 2009. *Introduction to laser ranging, profiling, and scanning*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Tacmin Aerialsurvey, 2017. <http://www.tacmingroup.com/aerial-survey-dat-processing.html>.
- Vosselman G. and Maas H.G. (Eds.), 2010. *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Whittles Publishing.



# Bilgisayar Destekli Kömür Damar Blok Modeli ve Katı Modellerinin Oluşturulması

## *Computer Aided Coal Seam Block Model and Solid Model Generation*

A. Eşiyok

*Micromine, Ankara, Türkiye*

**ÖZET** Kömürden enerji üretmek üzere, ülkemizde yeni projeler devreye girmektedir. Kömürden enerji üretmek politikaları da geliştirilmektedir. Kömür zenginliğimizden daha büyük miktarda yararlanmak ve kömür üretiminde kayıpları en aza indirip verimi arttıracak tedbirler almak ve yenilikleri uygulamak önem kazanmaktadır.

Avustralya kökenli Micromine firması tarafından geliştirilen Micromine yazılımının kömür ve benzeri tabakalı maden yatakların modellenmesi için geliştirilen “Stratigraphic Modelling” modülü ile kömür damar modellemesi bu çalışmada ele alınacaktır.

**Anahtar Sözcükler** : Kömür damarları, modelleme, stratigrafik modelleme

**ABSTRACT** Energy based new coal projects get in circuit in Turkey. In addition, there are new pro-coal politics at state level. Coal resources need to be handled more profitable and losses should be minimized.

Australian based Micromine has a new module, Stratigraphic Modelling, specially designed to model coal seam and other stratigraphic deposits. In this paper, a coal project has been studied with Micromine Stratigraphic Modelling

## 1 DAMAR STRATİGRAFİSİ

### 1.1 Veri Doğrulama

Kömür arama sondajlarından elde edilen kuyu başı kot ve koordinat değerleri ile kuyu derinliği bilgilerini içeren dosya veri tabanındaki ilk dosyadır.

Veri tabanındaki diğer dosyalardan ilki sondaj kuyusu karot örneklerinin jeolojik kaydı ikincisi sondaj kuyu karot örneklerinin analiz değerlerini içeren dosyadır.

Kömür damar modelleme öncesi tüm veriler doğrulanır ve hatalar giderildikten sonra veri tabanı oluşturulur.

### 1.2 Veri Tabanı

Veriler doğrulandıktan sonra veri tabanı oluşturulur. Sondajların analiz ve litolojik bilgileri ile 3 boyutlu olarak, gerçek kot ve koordinatlarında bilgisayar ortamına alınması için veri tabanı oluşturulmalıdır.

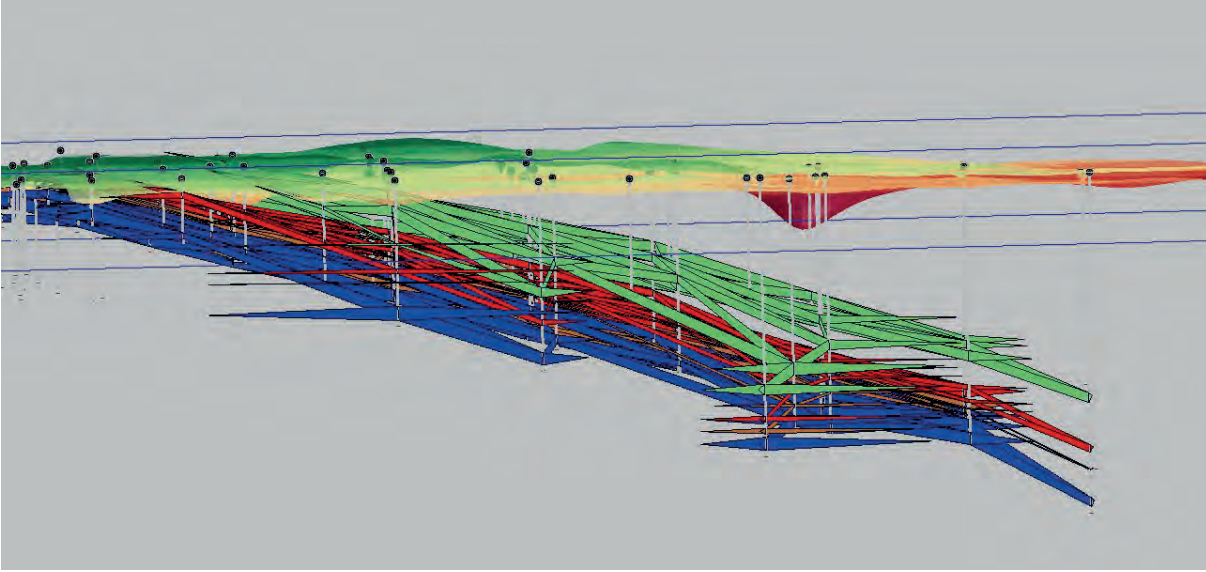
### 1.3 Damar Hiyerarşisi

Damarların adlandırılması ve damar sıralamasının (hiyerarşi) oluşturulması kömür yatağının stratigrafisini belirlemek için önemlidir. Kömür hiyerarşisinde damarlar arasındaki ara kesmelerinde sıralanması gerekir. Kömür hiyerarşisi belirlendikten sonra yazılım tarafından ara kesmeler ve kömür damarları enterpolasyon

yapılarak damar hiyerarşisine göre kodlanır.

Damar hiyerarşisi oluşturulmada Micromine, Seam Correlation

fonksiyonundan yararlanılabilir, yapılan damar kodlamaları korelasyon ile izlenerek doğrulamalar yapılır. Şekil 1 de projenin nihai damar korelasyonu gösterilmektedir.



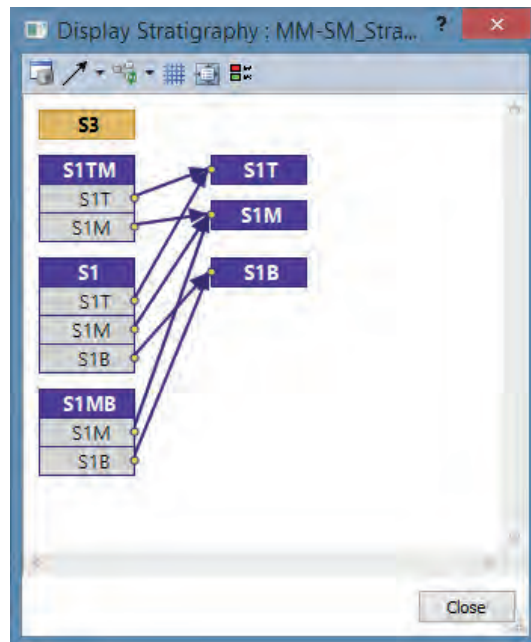
Şekil 1. Proje damar korelasyonu

#### 1.4 Kömür Yatağı Stratigrafisi

Damar hiyerarşisinden sonra “Parent” ve “Child” damarlar belirlenir. Parent damarlar ara kesmeler ile bölünerek Child damarlara ayrılırlar. Projede;

Parent damarlar: S3, S1, S1TM ve S1MB dir. Child damarlar: S1T, S1M, S1B dir.

Buna göre kömür stratigrafisi Şekil 2 de verilmektedir. S1TM parent damarı S1T ve S1M child damarlarından oluşmuştur. S1 parent damarı S1T, S1M ve S1B child damarlarından oluşmuştur. S1MB parent damarı ise S1T, S1M ve S1B child damarlarından oluşmuştur.



Şekil 2. Damar Stratigrafisi

## 1.5 Damar Enterpolasyonu

Burada amaç damar modellemeye önce aslında bir bütün olan parent damarları bölerek child damarlar haline getirmektir. Bütün damarlar child haline getirildikten sonra damar modellemesi mümkün olabilir. Yani damar bütün olmasına rağmen sanki iki ya da üç child damardan oluştuğu düşünülür.

Child eklenmiş damar kalınlıklarının yeniden hesaplanması gerekir. Burada child

damar kalınlıklarının hangi oranda oluşturulacağı etraftaki damarlara bakılarak hesaplanır.

Aşağıda, Şekil 3 de gösterildiği gibi, Seam\_Logged alanı değişiklik öncesi damar adını ve Seam alanı ise değişiklik sonrası yeni damar adını gösterir. Örnek olarak daha önce S1MB olan damar S1M ve S1B olarak iki ayrı damara bölünmüştür. Damar modellemesi açısından önemli bir işlemdir.

	HOLE	FROM	TO	Thickness	SEAM	SEAM_LOGGED	Comment
1	C006	21.70	31.00	9.30	S3	S3	LOGGED
2	C006	59.00	66.20	7.20	S1T	S1T	LOGGED
3	C006	67.50	75.06	7.56	S1M	S1MB	MODEL INSERT (6)
4	C006	75.06	84.20	9.14	S1B	S1MB	MODEL INSERT (6)
5	C008	23.10	26.43	3.33	S1T	S1	MODEL INSERT (6)
6	C008	26.43	31.99	5.56	S1M	S1	MODEL INSERT (6)
7	C008	31.99	39.50	7.51	S1B	S1	MODEL INSERT (6)
8	C009	37.90	45.90	8.00	S3	S3	LOGGED
9	C009	91.40	95.92	4.52	S1T	S1TM	MODEL INSERT (6)
10	C009	95.92	102.00	6.08	S1M	S1TM	MODEL INSERT (6)
11	C009	103.00	113.00	10.00	S1B	S1B	LOGGED
12	C010	29.70	34.00	4.30	S1T	S1T	LOGGED
13	C010	36.10	43.84	7.74	S1M	S1MB	MODEL INSERT (6)

Şekil 3. Damar Kodlaması

## 1.6 Damar ve Ara Kesmelerin Eklenmesi

Şu ana kadar yapılan işlemlerde sadece damarlar dikkate alınmıştır. Ancak damarlar arasındaki ara kesmeler dikkate alınmamıştır. Bu bölümde ara kesmelerin de modellemesi ele alınacaktır. Yazılımın Insert Seams and Interburden fonksiyonu kullanılır. Mevcut damar dosyası ve stratigrafi dosyası birlikte ele alınır.

Aşağıda, Şekil 4 de görüldüğü gibi Material dosyası elde edilir. Hem damar hem de ara kesme içerdiği için bu dosyaya Material adı verilir. Şekil 4 de görüldüğü gibi S1T damarının üzerine S1T\_IB ara kesmesi eklenmiş ve kalınlığı hesaplanmıştır. Benzer şekilde tüm ara kesmeler adlandırılmış ve kalınlıkları hesaplanmıştır.

	HOLE	FROM	TO	Thickness	SEAM	SEAM_LOGGED	Comment
1	C006	21.70	31.00	9.30	S3	S3	LOGGED
2	C006	31.00	59.00	28.00	S1T_IB		INSERTED
3	C006	59.00	66.20	7.20	S1T	S1T	LOGGED
4	C006	66.20	67.50	1.30	S1M_IB		INSERTED
5	C006	67.50	75.06	7.56	S1M	S1MB	MODEL INSERT (6)
6	C006	75.06	75.06	0.00	S1B_IB		INSERTED
7	C006	75.06	84.20	9.14	S1B	S1MB	MODEL INSERT (6)
8	C008	23.10	26.43	3.33	S1T	S1	MODEL INSERT (6)
9	C008	26.43	26.43	0.00	S1M_IB		INSERTED
10	C008	26.43	31.99	5.56	S1M	S1	MODEL INSERT (6)
11	C008	31.99	31.99	0.00	S1B_IB		INSERTED
12	C008	31.99	39.50	7.51	S1B	S1	MODEL INSERT (6)
13	C009	37.90	45.90	8.00	S3	S3	LOGGED
14	C009	45.90	91.40	45.50	S1T_IB		INSERTED
15	C009	91.40	95.00	3.60	S1T	S1M	MODEL INSERT (6)

Şekil 4. Materyal Dosyası

## 1.7 Referans Damar Ekstrapolasyonu

Stratigrafik modellemede en temel unsur referans damarın belirlenmesidir. Sondajların en fazla sayıda kestiği damar referans damardır. Ancak az sayıda da olsa referans damar bazı kuyularda kesilmemiş olabilir. Projemiz de sondajların çoğunda kesilen S1B damarı bazı sondaj kuyularında kesilmemiştir. Bu durumda ekstrapolasyon ile referans damar olan S1B damarının kesilmediği sondaj kuyularında bir seviye ve kalınlık kestirimi yapılır.

Bu işlemde stratigrafi dosyası, materyal dosyası, referans damar adı, dikkate alınarak kalınlık modellemesi yapılır, ara kesmeler söz konusu ise ara kesmeler eklenir, damar ve ara kesmelerin kot ve koordinatları hesaplanır.

Sonuçta elimizde referans damarın kot ve koordinatları ile referans damar ve diğer damarlar ile ara kesmelerin kalınlıkları, kot ve koordinatları hesaplanmış ve dosyalar halinde elde edilmiş bilgiler mevcuttur. Buradan damar katı modelleri oluşturulmadan doğrudan damar blok modeli oluşturma işlemine başlanır.

Kömürün üç boyutlu olarak şeklini temsil eden üçgenleme ye damar katı modeli diyoruz.

Kömür damarı katı modelin içi boştur. Ancak kömür katı modeli içindeki kalori, kül, yoğunluk gibi değişkenlerin dağılımının belirlenmesi için katı modelin içi doğu, kuzey koordinatları ve kot değerleri ile tanımlanmış noktalar ile doldurulur ve daha sonra gerçekleştirilen hesaplamalar ile bu noktalara hesaplanmış kalori, kül, yoğunluk gibi değişken değerleri atanır.

Kömür katı modeli içinde kot ve koordinat değerleri ile birlikte noktaların oluşturulmasında blok yöntemi kullanılır. Kömür katı modelin içine bloklar yerleştirilir ve bu blokların merkezi, hesaplanmış kalori, kül ve yoğunluk gibi değişkenlerin atanacağı noktalarıdır.

## 2 GRID MODELLEME

### 2.1 Referans Damar Yüzey Modeli

İlk olarak materyal dosyasındaki S1B damarı seviye kot ve koordinatları kullanılarak referans damar yüzeyi olarak

S1B damar yüzeyi grid modelleme yöntemi ile oluşturulur ve S1B grid dosyası olarak kaydedilir.

Grid yüzey modellemesinde grid boyutları (grid doğu ve kuzey uzunlukları) belirlenir. Grid doğu ve kuzey boyutları daha sonra oluşturulacak blok modeldeki blokların da doğu ve kuzey yönlerinde uzunlukları olacaktır. Grid model hücre boyutu sondajlar arası mesafeyi 5 ile 10 sırada (range) geçecek şekilde belirlenebilir. Projede grid yüzey doğu ve kuzey boyutları 25 metre olarak belirlenmiştir.

Grid metodu olarak Kriging kullanılmıştır. Kriging model parametresi olarak “*Omnidirectional*” seçilmiş ve “*Basic General Linear*” seçeneği kullanılmıştır. Arama şekli “CIRCLE” yani daire olarak belirlenmiştir. Arama çapı 1600 metre olarak alınmıştır. Sektör sayısı 8 olarak belirlenmiş ve her sektördeki maksimum analiz adedi 8 olarak sınırlanmıştır. S1B damarını kesen sondajları çevreleyen poligon sınır poligon olarak çizilmiştir.

Daha sonra referans damar dahil tüm damarların ve ara kesmelerin kalınlık grid modelleri oluşturulmuştur. Tekrarlanan işlem olduğundan kalınlık grid modelleri oluşturulmasında Macro yazılmıştır.

## 2.2 Macro ile Damar ve Ara Kesmelerin Kalınlık Grid Modellemesi

Macro işleminde kullanılacak olan kalınlık grid formu hazırlanır. Önceki bölümlerde anlatılan extrapolate damar dosyası girdi veri olarak kullanılır. Her damar için filtre uygulanarak damarlar seçilir ve damar kalınlıkları grid modeli Macro yardımıyla hesaplanır.

Bir Macro oluşturma örneği aşağıda anlatılmıştır.

Macro da işlem (PROCESS) alanında COMMENT ilk satır olarak seçilir ve Macro amacı bu satıra yazılır. PROCESS alanında daha sonraki satırlarda işlem seçilir. Şekil 5 de verilen Macro da işlem GRIDDING olarak belirlenmiştir. %1 alanına değişken değerleri girilir. Macro da değişken damar ve ara kesme adlarıdır ve değişken değerleri %1 alanı altındaki satırlara yazılmıştır.

	PROCESS	Form	Plot File	BMP File	Append-ROP	PAR	%1	%2	%3	%4	%5	%6	%7	%8	%9	%10	%11	%12	%13	%14	%15	%16
1	COMMENT	...		Create Thickness Grid																		
2	GRIDDING	...	3	...			S3															
3	GRIDDING	...	3	...			S1T_IB															
4	GRIDDING	...	3	...			S1T															
5	GRIDDING	...	3	...			S1M_IB															
6	GRIDDING	...	3	...			S1M															
7	GRIDDING	...	3	...			S1B_IB															
8	GRIDDING	...	3	...			S1B															

Şekil 5. Macro Dosyası

Macro çalıştırılarak damar ve ara kesmelerin kalınlık grid modelleri oluşturulur.

Bu şekilde referans damar yüzeyi, damar ve ara kesme kalınlıkları modellendikten

sonra damar blok model oluşturulabilir. Ancak daha önce kontrol dosyası oluşturulmalıdır.

### 2.3 Kontrol Dosya oluşturulması

Kontrol dosya ile referans damar yüzeyi veya altında sıralanacak damar ve ara kesme kalınlık grid modelleri sıralanır. Şekil 6 da sıralamanın bir örneği verilmektedir.

Referans damar olan S1B nin kalınlık grid modeli, S1B\_TH, 0 olarak sıralanır.

Yani referans damar S1B en altta yer alır. Diğer damar ve ara kesme grid modelleri ise aşağıdan yukarıya doğru 1 den 6 ya kadar sıralanır. Kontrol dosyası da hazırlandıktan sonra damar blok model oluşturulur.

	GRID	SEQUENCE	THICKNESS	MATERIAL
1	S3_(TH)	6		S3
2	S1T_IB_(TH)	5		S1T_IB
3	S1T_(TH)	4		S1T
4	S1M_IB_(TH)	3		S1M_IB
5	S1M_(TH)	2		S1M
6	S1B_IB_(TH)	1		S1B_IB
7	S1B_(TH)	0		S1B

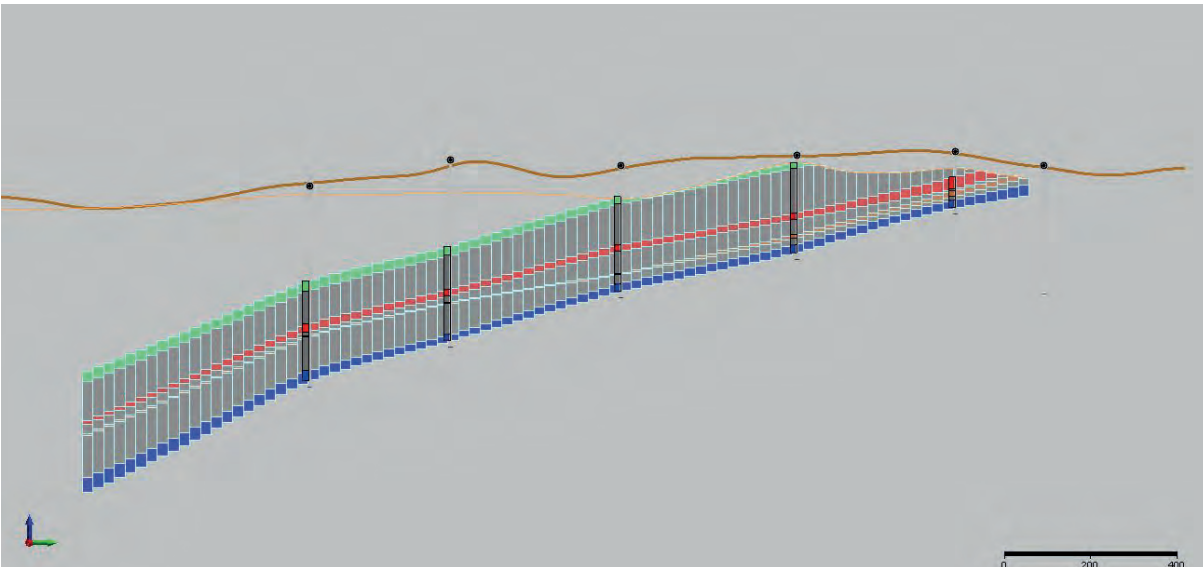
Şekil 6. Grid Modelleme Kontrol Dosyası

## 3 DAMAR BLOK MODEL

### 3.1 Damar Blok Model Oluşturulması

Referans damar yüzey grid modeli ve tüm damar ve ara kesmelerin kalınlık grid modelleri kontrol dosyasındaki sıralamaya

göre ele alınarak grid modelden blok modele dönüşüm yapılır. Şekil 7 de oluşturulan damar blok model kesiti verilmektedir.

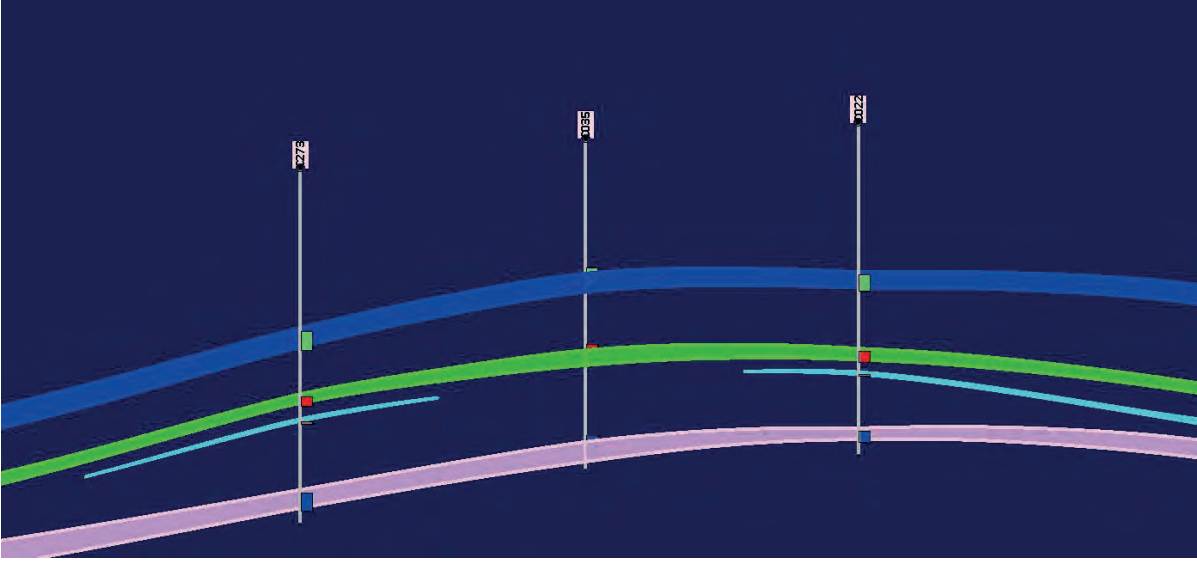


Şekil 7. Damar Blok Model

### 3.2 SCRIPTING ile Damar Kalınlık Grid Model ve Blok Model Oluşturulması

Bazı damarlar her kuyuda olmayabilir. Ancak grid modelde, bir sondajda kesilmeyen damar kalınlığı sıfır olarak kabul edildiğinden bu damar kuyuya fazla

yaklaşır. Oysa iki kuyu arası orta yerde damar sonlanmalıdır. Aşağıda, Şekil 8 de olması gereken damar pozisyonu gösterilmektedir. Açık mavi renkli damar kesilen kuyu ile kesilmeyen kuyu arasında orta yerde sonlanmıştır.



Şekil 8. Scripting ile Kalınlık Modellemesi Sonrası Blok Model

Bu problemi çözmek için sıfır kalınlık değerleri, etraftaki veriye göre hesaplanmış negatif kalınlık değerleri ile değiştirilir. Bu modelleme için Micromine tarafından geliştirilmiş Scripting dosyası çalıştırılır. Scripting çalıştırıldığında materyal dosyasında ilave bir kalınlık alanı “Inverse Thickness” adıyla açılacaktır.

Scripting işleminde kullanılacak kalınlık grid modelleme için yeni bir Form hazırlanmalı ve kaydedilmelidir. Kaydedilen bu Form adı Scripting dosyasına tanıtılmalıdır.

Scripting dosyası çalıştırıldığında, hesaplanan damar kalınlık değerleri materyal dosyası içinde yeni bir alana (sütuna) kaydedilir ve alan adı örneğin INV\_THICKNESS olarak belirlenebilir.

Bundan sonraki adım INV\_THICKNESS kalınlık değerleri dikkate alınarak tüm damar ve ara kesmeler için kalınlık grid modelleri oluşturmaktır.

Bunun için daha önce hazırlanan Macro da ufak bir değişiklikle yani yeni bir grid kalınlık model Form hazırlanarak kullanılabilir. Yeni Macro Şekil 9 da gösterildiği gibi olacaktır.

PROCESS	Form	Plot File	BMP File	Append-ROP	PAR	%1	%2	%3	%4	%5	%6	%7	%8	%9	%10	%11	%12	%13	%14	%15	%16	%17	%18
1	COMMENT	...				Seam																	
2	GRIDDING	...	3	...	Create Thickness Grid	S3																	
3	GRIDDING	...	3	...		S1T_IB																	
4	GRIDDING	...	3	...		S1T																	
5	GRIDDING	...	3	...		S1M_IB																	
6	GRIDDING	...	3	...		S1M																	
7	GRIDDING	...	3	...		S1B_IB																	
8	GRIDDING	...	3	...		S1B																	
9	COMMENT	...			Inverse Grid																		
10	GRIDDING	...	4	...		S3																	
11	GRIDDING	...	4	...		S1T_IB																	
12	GRIDDING	...	4	...		S1T																	
13	GRIDDING	...	4	...		S1M_IB																	
14	GRIDDING	...	4	...		S1M																	
15	GRIDDING	...	4	...		S1B_IB																	
16	GRIDDING	...	4	...		S1B																	

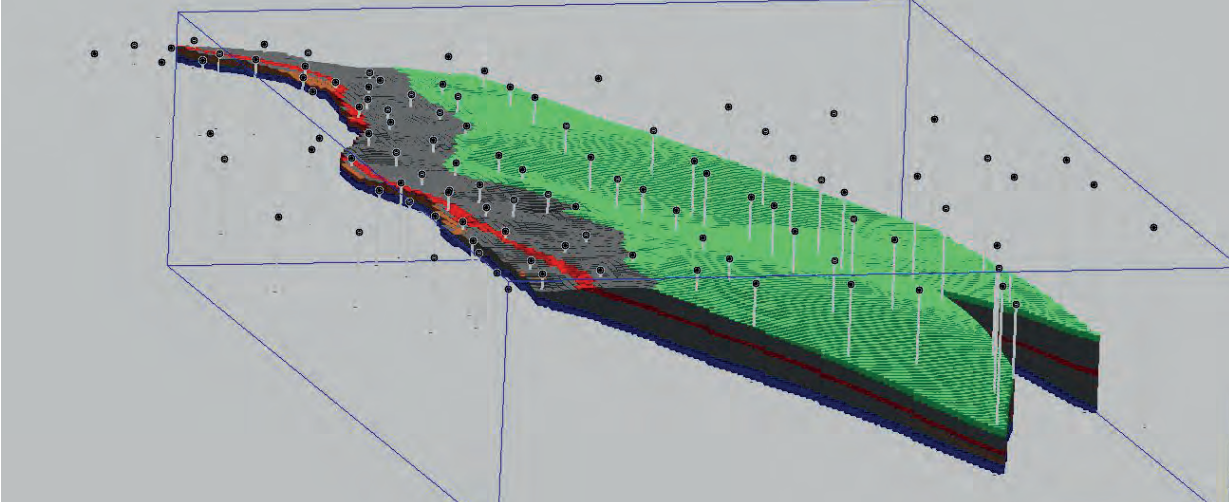
Şekil 9. Scripting ile Bulunan Yeni Kalınlık Değerlerine Göre Grid Modelleme için Hazırlanan Macro

### 3.3 Damar Blok Modelin Topoğrafya ile Kestirilmesi

Yüzeylenen kömür damarlarında damar blok model oluşturulduktan sonra topoğrafya veya benzeri bir yüzey ile damar blok modelin kestirilmesi ve topoğrafya üzerinde kalan kısmın silinmesi gerekir.

Yazılımda, bu amaçla geliştirilen fonksiyonlar kullanarak, topoğrafya ile damar blok model uygun bir şekilde kesilir ve topoğrafya altında kalan blok model nihai damar blok model olarak kaydedilir.

Şekil 10 da topoğrafya ile kestirilmiş damar blok modelin son hali verilmektedir.



Şekil 10. Damar Blok Modelin Topoğrafya ile Kestirilmesi

## 4 DAMAR 3 BOYUT KATI MODELLERİ

### 4.1 Damar Blok Modelinden Damar Katı Modelin Elde Edilmesi

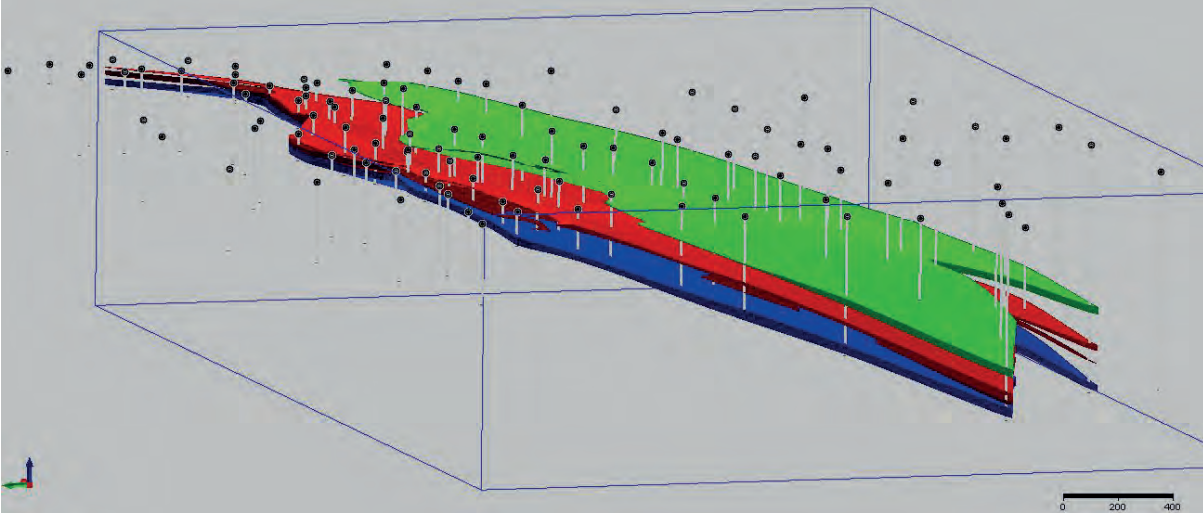
Damar blok model oluşturulduktan sonra kömür damarlarının 3 boyutlu katı modellerinin oluşturulması gerekebilir. Yazılımın bu amaçla geliştirilmiş fonksiyonu vardır.

Kömür damar blok model ve damar adları kullanarak kömür tavan ve taban yüzeyleri veya 3 boyutlu kömür damarları ayrı ayrı oluşturulur.

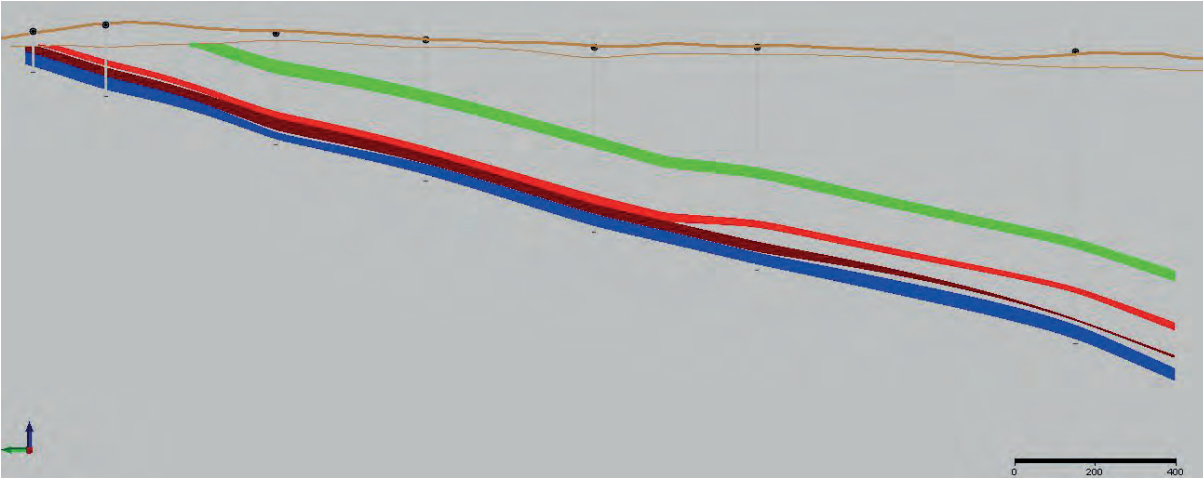
Şekilde 11 de damar blok modelden katı modele dönüştürülmüş 3 boyutlu kömür damarları gösterilmektedir.



Şekil 12 de verilen kesit de ise damar katı model kesiti verilmektedir.



Şekil 11. Damar 3 Boyutlu Katı Modelleri



Şekil 12. Damar Katı Modelleri Kesiti

## 5 SONUÇ

Kömür kaynaklarımızın verimli olarak işletilebilmesi için kömür damarlarımızın son yıllarda geliştirilmiş madencilik yazılımları kullanarak modellenmesi gerekir. Micromine Stratigrafik Modelleme ülkemiz bazı önemli kömür projelerinde kullanılmaktadır.

Kömür yataklarının iyi modellenmesini takiben, madencilik faaliyetlerine yönelik

olarak, açık ocak optimizasyonu, termin (scheduling) optimizasyonu, tenör kontrolü gibi konularında bilgisayar destekli yapılması kömür üretiminde verimliliği arttıracaktır.

## KAYNAKLAR

Eşiyok, A, 2016, MICROMINE Stratigrafik Modelleme MM2016, ders notu, 42 s.  
MICROMINE Stratigraphic Modelling MM2016 Online Help, only digital copy.

# İsdemir Yüksek Fırınlarda Yerli Ve İthal Cevherlerin Kullanımlarının Optimize Edilmesi

## *Optimisation of Domestic and Imported Iron Ore at İsdemir's Blast Furnaces*

S. Balaban, M. Telliöğlu

Yüksek Fırınlarda Müdürlüğü, İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. (İSDEMİR), Yüksek Fırınlarda Müdürlüğü, Karayılan Beldesi, 31319 İskenderun, Hatay, Türkiye

**ÖZET** Yüksek Fırın prosesinde hammadde çeşitleri ve bunların kimyasal, fiziksel ve metalürjik özellikleri çok önem arz etmektedir. Günümüz piyasalarında var olabilmek için hem kaliteli hem de ekonomik üretimler yapılması gerekmektedir. İSDEMİR Demir Üretimi bu ihtiyaç doğrultusunda; Yüksek Fırınlarda ürünü olan Pik demire kadar olan demir üretim sürecinde hammadde girdi optimizasyonu için gerekli çalışmalar yapmıştır.

**ABSTRACT** In the iron making process the chemical, physical and metallurgical properties of the raw materials play an important role for the Blast Furnace. In order to survive in today's steel market companies have to produce steel with quality and with a reasonable cost. İsdemir Iron-making department made a study to optimize the raw material input for the Blast Furnace to produce pig iron.

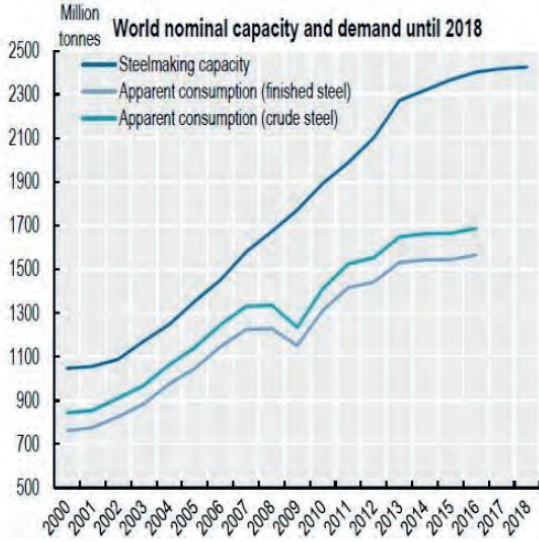
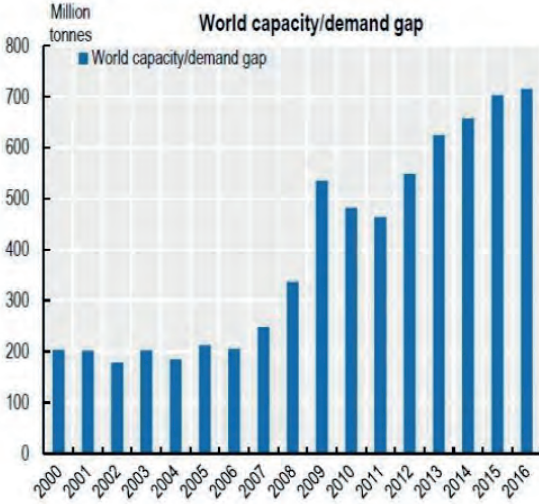
### 1. GİRİŞ

Entegre Demir Çelik Tesislerinde pik demir (Sıvı ham demir) üretimi için kullanılan başlıca hammaddeler: toz demir cevheri, parça demir cevheri, pelet, koklaşabilir taşkömürü, PCI kömürü ve curuf yapıcı yardımcı hammaddelerdir (örneğin kireçtaşı, kuvarsit, dünit vs.).

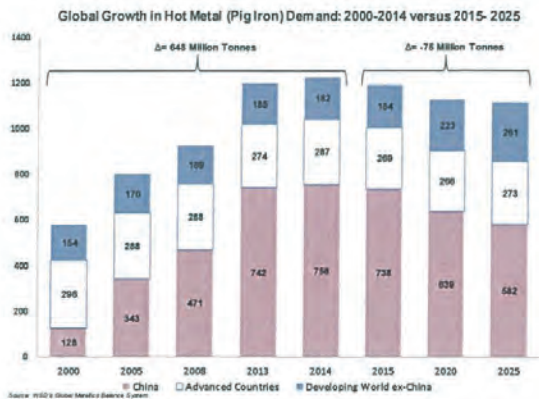
Toz demir cevheri Sinter tesislerinde işlenip Sinter haline gelmeden önce Yüksek Fırınlarda kullanılması mümkün değildir. Parça demir cevheri ve Pelet direk Yüksek Fırına şarj edilebilmektedir. Koklaşabilir Taşkömürü ise daha önce Kok Fabrikalarında

metalürjik koka dönüştürülmesi gerekmektedir. PCI kömürleri de Yüksek Fırınlarda beslenmeden önce öğütme ve kurutma prosesinden geçmektedir.

Dünya'da üretilen çeliğin yaklaşık %75'i Yüksek Fırın prosesi ile yapılırken %25'i Ark ocakları ile yapılmaktadır. Mevcut çelik üretim kapasitesi 2,5 milyar ton olması ve çelik tüketim ihtiyacının çok daha az olması nedeniyle bu pazarda çok ciddi bir rekabet ortamı vardır.

Grafik 1: Dünya Çelik Kapasitesi ve Talebi<sup>1</sup>Grafik 2. Dünya Çelik Kapasitesi/Talep Açığı<sup>1</sup>

Gelecekte de Pik demir (Sıvı Ham Demir) ihtiyacının da düşmesi beklenmektedir.

Grafik 3. 2000-2025 Pik Demir Talebi<sup>2</sup>

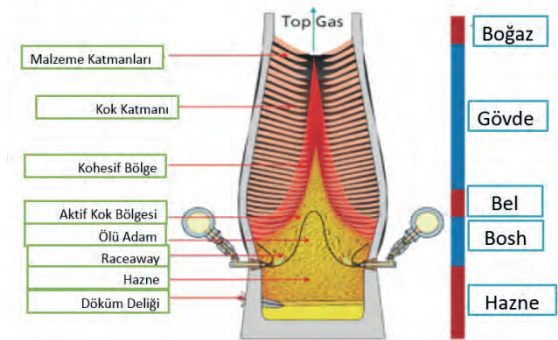
Bu nedenle Çelik üretim prosesinin çok önemli bir bölümü olan Pik demir üretim prosesi için Yüksek Fırınlara en verimli ve en ekonomik şekilde yönetilmelidir. Bu amaçla bir optimizasyon programının kullanılması amaçlanmıştır.

## 2. PROGRAMIN İSDEMİR'E ADAPTE EDİLMESİ

Demir Üretim tesisleri olan Sinter, Kok Fabrikaları ve Yüksek Fırınlara için geçmişe ait veriler çıkarılmış ve veri analizi yönetimi ile irdelenmiştir. Bununla birlikte verilerden girdi ve çıktılar arasında ilişkiler kurulmuştur. Buna müteakip veriler daha önce bu amaçla tasarlanmış bir programa yüklenmiş ve test edilmiştir. Sonuçlar gerçek durum ve teorik bilgiler ile karşılaştırılarak tekrar tekrar incelenmiş ve revize edilmiştir. Bu işlem tüm kritik olarak görülen parametreler için tekrarlanmıştır.

## 3. PROSES PARAMETRELERİ

Programda termodinamik dengeler ve indirgeme reaksiyonları dikkate alınarak İsdemir'deki Yüksek Fırınlara özelliklerini de katarak ısı ve enerji dengeleri kurulmuştur. Bu amaçla fırının değişik bölgelerindeki reaksiyonlar ve ısı kayıpları tahmin edilemeye çalışılmıştır.



Şekil 1. Yüksek Fırının Bölgeleri

Her yüksek fırın için çalışma hacmi, üretim ortalaması, çalışma basıncı, körük kapasitesi

ve diğer teknik özellikleri çıkarılmış olup, hammadde özellikleri de dikkate alınmıştır.

### 3.1 Hammadde ve Empüriteler

Yüksek fırın prosesinde hammaddelerin kimyasal kompozisyonu ve metalürjik özellikleri çok büyük önem arz etmektedir. Bunlardan en önemlileri aşağıda belirtilmiştir:

Kok: Kül, CSR, CRI, Stabilité

Sinter: Fe tenörü, SiO<sub>2</sub>, RDI, İndirgeme Endeksi, Çinko, Alkaliler

Parça Cevheri: Fe tenörü, Çinko, Alkaliler, Kükürt, İndirgenabilirlik

Pelet: ΔP, ΔH, Fe tenörü, Alkaliler, Çinko, RDI, LTD, tane boyutu dağılımı, mukavemet

PCI: Kalorifik Değer, Kül, Uçucu Madde

Burada belirtilen özellikler Yüksek Fırının verimliliğini ve ekonomik çalışmasını birebir etkilemektedir.

İsdemir Yüksek Fırınlarında kullanılan Kok İsdemir'in kendi kok fabrikalarında üretilmekte olup, üretilen kokun kalitesi tedarik edilen koklaşabilir taşkömürü özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Demirli Malzeme harmanında Pelet, Parça ve Sinter kullanılmaktadır. Parça cevherler sadece kırma ve eleme işleminden geçilerek doğada bulunduğu halde fırına şarj edilmektedir. Parça cevherleri yapıları nedeniyle üretim verimliliğini düşmekte ve yakıt oranlarını yükseltmektedir. Bu nedenle sadece belirli oranlarda fırınlara şarj edilmektedir. Pelet tenör yönünden zengin ve çoğu pelet empürite yönünden de düşük olduğu için Yüksek Fırınlar için çok uygundur. Peletler bazik ve asidik pelet olarak ikiye ayrılmaktadır. Bazik peletler

redüklenme hızı ve fırın verimliliği açısından asidik peletlere göre daha uygundur. Ancak peletler demirli hammaddeler arasında en pahalı hammaddedir.

#### 3.1.1 Sinter

Sinter demir tenörü yönünden pelet ve cevher kadar iyi olmasa da sinterleşme prosesinden geçmesi ve daha ucuz hammaddeler ile üretilmesi nedeniyle Yüksek Fırınlar için ekonomik bir alternatiftir. Bu nedenle Yüksek Fırınlarının ekonomik çalışması istendiğinde Sinter oranının yükseltilmesi gerekmektedir. Sinterin bir başka avantajı içerisinde Entegre Çelik Tesisinin bazı atıkları tekrar kullanılabilir olmasıdır. Verimli ve ekonomik bir Yüksek Fırında kok ile birlikte Pelet-Cevher-Sinter kompozisyonunun ve oranlarının ayarlanması en önemli faktördür.

Sinterdeki en önemli hammadde toz demir cevheridir. Dünyanın en önemli demir cevheri ihracatçıları Brezilya ve Avustralya'dır. Ancak madencilik kolay, empüritesiz ve yüksek tenörlü demir cevheri rezervleri git gide azalmaktadır. Bununla birlikte Türkiye'deki demir cevheri sahaların çoğunda empürite sorunu mevcuttur. Bu nedenle cevherlerin zenginleştirilmesi ya da farklı özelliklerde empüriteler içeren cevherler ile karıştırılması bir zorunluk haline gelmiştir. Cevherlerin zenginleşebilmesi için kırma ve öğütme işlemlerinden geçmektedir. Bu nedenle son yıllarda sinter harmanlarında konsantre demir cevheri kullanımı artmıştır. Konsantre demir cevheri kullanımı sinter makinesi verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Sinter optimizasyonunda konsantre cevherin olumsuz etkileri ile empüriteli demir cevherlerinin olumsuz etkileri dikkate alınarak Yüksek Fırınlarının kullanabileceği kalite ve fiyat yönünden en uygun sinter harmanı alternatifi bulunmaktadır. Yurtiçi demir cevherlerinin

genelde kalite problemleri olması nedeniyle yerli ve ithal demir cevherlerinin optimize edilmesi bu açıdan önemli olmaktadır. Şekil 2’de Türkiye’deki demir cevheri yatakları verilmektedir.



Şekil 2. Türkiye’deki önemli Demir Cevheri Yatakları

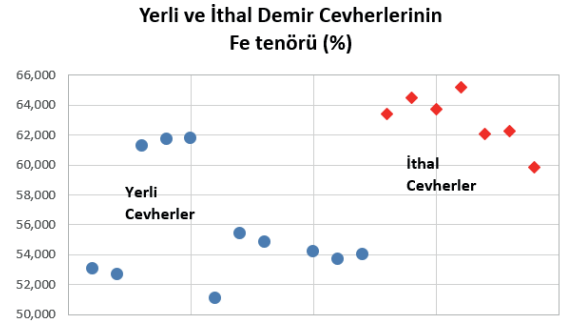
İsdemir tarafından tedarik edilen İthal ve yerli toz demir cevherlerin kimyasal özelliklerini veren tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Yerli Cevher Analizleri

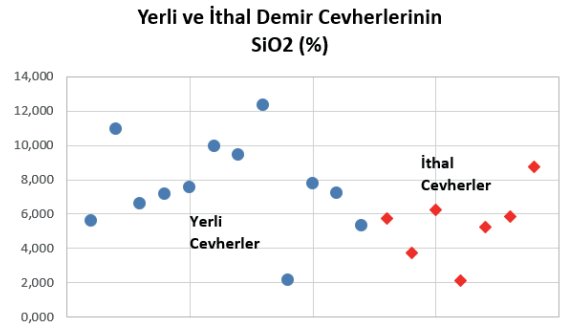
Firma	Fe %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	S %	P %	CaO %	Toplam Alkali %	Zn %
A	53,028	5,579	1,462	0,041	0,016	6,403	0,232	0,057
B	52,652	10,910	1,887	0,066	0,179	2,586	0,484	0,017
C	61,257	6,600	1,790	0,049	0,057	0,270	0,618	0,002
D	61,689	7,140	0,672	0,024	0,243	2,062	0,116	0,006
E	61,727	7,507	0,742	0,025	0,179	1,886	0,150	0,005
F	51,060	9,936	0,600	0,084	0,015	2,861	0,218	0,002
G	55,409	9,403	2,015	0,246	0,065	2,345	0,477	0,025
H	54,830	12,300	3,000	0,060	0,083	0,200	0,934	0,019
I	37,098	2,137	0,486	0,204	0,008	3,147	0,112	0,032
J	54,185	7,770	0,809	0,025	0,021	1,759	0,211	0,005
K	53,677	7,177	1,000	0,020	0,036	1,444	0,249	0,004
L	53,972	5,300	1,763	0,034	0,040	1,591	0,249	0,054

Tablo 2: İthal Cevher Analizleri

Firma	Fe %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	S %	P %	CaO %	Toplam Alkali %	Zn %
IA	63,382	5,744	1,218	0,006	0,054	0,070	0,018	0,004
IB	64,470	3,730	0,480	0,009	0,086	0,016	0,007	0,001
IC	63,740	6,240	1,370	0,014	0,055	0,090	0,306	0,002
ID	65,174	2,134	1,410	0,007	0,052	0,042	0,025	0,007
IE	62,090	5,250	2,150	0,010	0,069	0,021	0,020	0,003
IF	62,285	5,830	1,833	0,010	0,059	0,053	0,023	0,003
IG	59,850	8,750	2,400	0,015	0,069	0,050	0,027	0,003



Grafik 4. Yerli ve İthal Cevherlerin Fe Tenörü



Grafik 5. Yerli ve İthal Cevherlerin SiO<sub>2</sub>

Yüksek Fırınlarda Sinter kullanımını önemli ölçüde etkileyen faktörler arasında Sinterin Demir tenörüdür. Ancak Sinter hammaddesi olarak kullanılan toz demir cevherinde SiO<sub>2</sub>’nin düşük olması istenmektedir. Cevherin içerisinde belirli miktarda CaO olması sorun olmamaktadır. Çünkü Sinter hazırlanırken kireçtaşı Sinter harmanına dahil edilmektedir. Avrupa’daki birçok Yüksek Fırın 2,2 Sinter bazıklığı ile çalışmaktadır (CaO/SiO<sub>2</sub>). Eğer demir cevherindeki SiO<sub>2</sub> oranınız yüksek olursa çok miktarda kireçtaşı katılması gerekmektedir. Bunun sonucunda sinterin demir tenörü düşmekte ve Yüksek Fırın tarafında curuf oranı ve yakıt oranı yükselmektedir. Bu nedenle geçmişte yüksek silisli yerli cevherleri düşük silisli ithal cevherler ile karıştırılması zorunluluğu doğmuştur.

İşletmesi kolay ve empüritesiz Demir cevheri kaynaklarının azalması ile toz demir cevherinde zenginleştirme prosesleri artmaya

başlamıştır. Zenginleştirmenin başlıca avantajı demir tenörü arttırmak ve curuf yapıcı bileşikler ile birlikte zararlı emüriteleri cevherden ayırmaktır. Ancak zenginleştirme prosesinde demir cevheri ince boyuta kırılması ve bazen de öğütülmesi gerekmektedir. Sinterleme prosesi esnasına - 150mm malzeme oranı sinter yatak geçirgenliğini bozduğundan çok tercih edilmemektedir. Sinter kalitesinin sabit tutabilmek amacıyla sinter makine hızı düşürülmekte ve sinter üretim kapasitesi kaybedilmektedir. Ancak konsantrenin kimyasal özellikleri ve fiyatı bu olumsuzlukları diğer düşük tenörlü ve empüriteli cevherlerin optimize edilmesi ile avantajlı hale getirmektedir. Aşağıda yerli ve ithal konsantre cevherlerine ait analizler verilmektedir.

Tablo 3. Konsantre Cevheri

	Fe %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	S %	P %	CaO %	Toplam Alkali (%)	Zn %
KA	67,688	3,106	0,766	0,008	0,077	0,568	0,053	0,004
KB	67,359	2,230	0,641	0,329	0,009	0,561	0,152	0,005
KC	65,850	2,726	0,751	0,386	0,012	1,037	0,165	0,005
KIA	67,210	2,330	0,490	0,001	0,025	0,080	0,009	0,003
KIB	68,390	1,610	0,170	0,025	0,014	0,280	0,044	0,004

### 3.1.2 Parça cevherleri

Parça cevheri fırınlarda belirli bir orana kadar kullanılabilir. Kok kömürü – demirli cevher fiyatları dengesi de göz önünde bulundurularak bazı fırınlarda %20'ye kadar da kullanıldığı görülmektedir. Ancak parça cevherinin başlıca dezavantajları aşağıdaki verilmiştir.

- Doğal Parça cevherinin farklı mineraller içerebilmesi nedeniyle cevherin içerisindeki limonit ve siderit gibi yapılardaki kısımlar fırın gövdesinin üst bölgelerindeki ısının yükselmesi ile kızdırma kaybına uğramakta ve parça cevherler kırılma

ve mukavemetini kaybetme belirtilerini göstermektedirler.

- Pelete oranla taşıma ve yükleme işlemlerinde daha fazla ufalanır ve ince taneli (toz) malzeme oluşturur.
- Daha düşük seviyelerde redüklenme hızına ve redüklenebilirliğine sahiptir. Özellikler manyetit cevherler yüksek fırının üst bölgelerinde indirek indirgemeye uğramayarak fırının alt bölgelerinde direk redüklenmeye neden olduğundan yakıtı arttırmaktadır.
- Daha düşük ergime sıcaklığına sahiptir.
- Pelete göre tane boyutu dağılımı daha kötüdür.
- Sintere göre gözenek yapısını daha azdır
- Yüksek PCI oranlı ve yüksek verimli Yüksek Fırınlarda fazla tercih edilmemektedir<sup>3</sup>.

Türkiye'deki bazı parça cevherleri yurtdışındaki parça cevherleri ile aynı kalitede olabilmektedir. Ancak Türkiye'deki parça cevher madenlerinin üretim kapasitesi, çalışma şartları ve lojistik kısıtları yüksek tonajlardaki üretimi sınırlamaktadır.

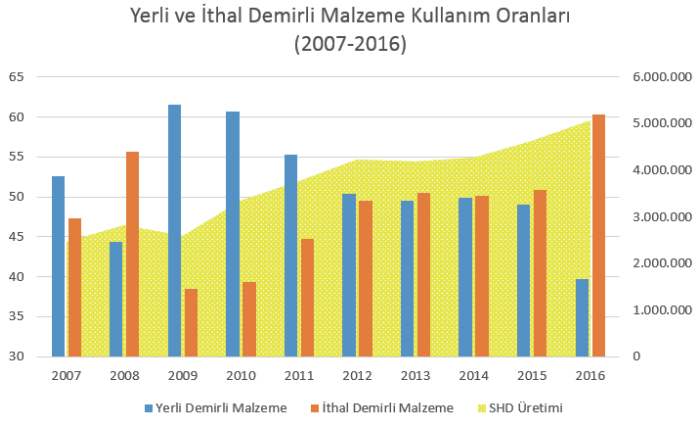
Tablo 4. Yerli Paça Analizleri

Fırın	Fe %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	S %	P %	CaO %	Toplam Alkali	Zn %
PA	56,144	11,408	1,368	0,362	0,096	0,254	0,215	0,017
PB	54,201	10,691	1,208	0,042	0,163	2,938	0,331	0,015
PC	65,056	3,739	0,898	0,084	0,046	0,260	0,271	0,004
PD	64,709	3,862	1,101	0,053	0,046	0,210	0,287	0,004
PE	60,595	8,351	0,622	0,026	0,247	2,465	0,154	0,005
PF	60,824	8,359	0,632	0,028	0,213	2,536	0,146	0,003
PG	60,836	5,139	0,810	0,054	0,035	2,165	0,141	0,018
PH	59,580	6,639	1,335	0,477	0,050	1,643	0,293	0,013
PI	60,289	3,943	0,851	0,082	0,046	3,530	0,148	0,012
PJ	55,885	5,711	0,265	0,028	0,015	2,239	0,085	0,004
PK	56,291	4,698	0,315	0,031	0,021	1,738	0,094	0,002

Tablo 5. İthal Parça Analizleri

Firma	Fe %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	S %	P %	CaO %	Toplam Alkali %	Zn %
IPA	63,957	5,895	1,123	0,009	0,043	0,085	0,190	0,002
IPB	65,430	4,340	1,100	0,004	0,060	0,050	0,047	0,003

İsdemir'in üretim kapasitesinin büyümesi ile demirli hammaddeye ihtiyacı da artmıştır. Buna karşın yurtiçi düşük empüritelikli demirli hammadde arzı aynı oranda artış gösterememiştir. Yurtiçi ve Yurtdışı demirli hammadde kullanım oranlarını ve İsdemir sıvı ham demir (pik) üretimini gösteren grafikte bu açıkça görülebilmektedir.



Grafik 6. Yıllar itibariyle yerli ve ithal demirli Malzeme (Hammadde) kullanım oranları ile Pik Üretim Değerleri

Kalite parametresinin dışında optimizasyon esnasında uluslararası demir cevheri fiyat endeksi çok önemli olmaktadır. Uluslararası demir cevheri fiyat endeksi ise son yıllarda ciddi dalgalanmalar göstererek 40 – 190 \$/t arasında hareket etmiştir. Gelecekteki fiyat değişkenliğinin bilinmemesi cevher üreticilerin yatırım kararlarını ciddi anlamda etkilediği düşünülmektedir.



Grafik 7. Uluslararası demir cevheri fiyat endeksi 2008-2016 (IODEX 62)<sup>2</sup>

#### 4. SONUÇ

Demir Çelik Sektöründe başarılı olmak için kalite, verimlilik ve maliyet odaklı olmak gerekmektedir. Pik demir üretimi de çelik üretiminin en önemli maliyet kalemlerinden biridir. Program ile yapılan optimizasyonlarda belirli periyodlar alınarak kısa ve uzun vadeli çalışmalar yapılmıştır. Program dönem dönem fiili aylardaki gerçekleştirmeler ile karşılaştırılarak test edilmektedir.

Maliyet minimizasyonunda yerli ve ithal cevherlerinin kendilerine haz özelliklerinin ve avantajlarının harmanlanması önem kazanmaktadır. Ayrıca Dünyada sinter harmanında konsantre kullanımının arttığı görülmektedir. Bu nedenle daha önce kullanımı mümkün olmayan yerli cevher yataklarının yeni zenginleştirme yöntemleri ile tekrar değerlendirilmesi ve incelenmesi gerekmektedir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Dünya Çelik Derneği & OECD
- [2] World Steel Dynamics – Inside Track 152 dergisi, 09.12.2016
- [3] M. Geerdes, H. Toxopeus, C. Van Der Vliet: Modern Blast Furnace Ironmaking, an introduction, 2009. 34

# Tufanbeyli Linyit Sahasındaki Zeminlerin Kazılabilirlik Özelliklerinin Araştırılması

## *Investigation of the Excavating Properties of Soils of Tufanbeyli Lignite Area*

A. Ürünveren

*Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana*

S. Ural

*Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana*

**ÖZET** Maden makinelerinden yüksek performans sağlanabilmesi için en öncelikli koşul, bu makinelerin, kazısı yapılacak zeminlere uygun olarak seçilmesidir. Bu çalışmanın ilk aşamasında kazılabilirliği etkileyen parametreler ile kayaçların ve zeminlerin kazılabilirlik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler kısaca verildikten sonra Tufanbeyli linyit sahası tanıtılmıştır. Daha sonra saha çalışmaları sırasında elde edilen örneklerin fiziksel ve jeomekanik özellikleri değişik araştırmacılar tarafından ortaya atılan kazılabilirlik sınıflandırmalarına göre değerlendirilerek, Tufanbeyli linyit sahasındaki örtü tabakasını oluşturan katmanlar kazılabilirlik özelliklerine göre sınıflandırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Tufanbeyli linyit sahası, kazılabilirlik

**ABSTRACT** The most important condition for high performance from mining machines is that these machines are selected according to the grounds to be excavated. In the first phase of this study, the parameters affecting excavability and the methods used to determine the excavability properties of rocks and soils were briefly described and then Tufanbeyli lignite field was introduced. Physical and geomechanical properties of the samples obtained during field studies were evaluated according to the excavability classifications revealed by different researchers and the layers forming the cover layer of Tufanbeyli lignite area were classified according to the excavability properties.

**Keywords:** Tufanbeyli lignite area, Excavability

## 1. GİRİŞ

Maden makinelerinden yüksek performans sağlanabilmesi için en öncelikli koşul, bu makinelerin, kazısı yapılacak zeminlere uygun olarak seçilmesidir. Bu da ancak materyallerin kazılabilirlik özelliklerinin doğru olarak yapılması ile sağlanabilir. Bu aşamada yapılabilecek yanlışlıklar kazıcı makinelerde uzun süreli duruşlara ve pahalı modifikasyonlara neden olmaktadır.

Kömür açık işletmeciliğinde kazılabilirliğin planlama safhasında güvenilir bir şekilde belirlenmesi optimum kazı yöntemi ve aracının seçimi açısından çok önemlidir. Örtü kazısı ve bunu takiben üretim başladıktan sonra zorunlu olarak

karşılaşılan kazı hazırlığı ve aracı ile ilgili değişiklikler ek yatırım, üretimde bekleme ve gecikmelere yol açacaktır. Örtü kazı işleminin tüm işletmecilik maliyeti içinde tek başına oldukça yüksek bir paya sahip oluşu konunun önemini açıkça vurgulamaktadır.

Diğer yandan kömür çevre kayaçlarını oluşturan birim kayaç ünitelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin düşey ve yatay yönlerde farklılaşma göstermesi kazılabilirliğin belirlenmesini güçleştirmektedir. Bu üç boyutlu karmaşık durum tortul kayaçların oluşum, ayrışma ve kayaç kütlelerinin kırılma, yataklanma ve faylanma sonucu oluşan yapısal süreksizlikler içermesinden kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı bilinen kazılabilirlik yöntemlerinin Tufanbeyli/ADANA linyit



havzasındaki örtü tabakalarına ve linyit kömürü damarına uygulayarak, bunları kazılabilirlik özelliklerine göre sınıflandırmak ve açık maden işletmesi için en uygun makine parkı seçimine yardımcı olmaktadır.

## 2 KAZILABİLİRLİĞİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

Kazılabilirliği etkileyen parametreler genel olarak kayacın fiziksel ve yapısal özelliklerinin bir fonksiyonu olmaktadır. Bunlar:

- Kazı direnci yönünden kayacın dayanım özellikleri,
- Kayaç kütlesindeki katmanlaşma düzlemleri ve çatlak türündeki süreksizliklerin konum ve dağılım aralıkları (dolayısıyla kayaç kütlesini oluşturan blokların şekil ve boyutları),
- Kayacı oluşturan minerallerin aşındırıcı özellikleri,
- Kayaç nem içeriği ve dolayısıyla kazıcıya yapışma özelliği.

Yukarıda belirtilen parametrelerden her birinin önem ve etkisinin kazıcı aracına göre değişeceği şüphesizdir. Bunun dışında kazı kolaylığı ve kazıcı performansını etkilemesinden ötürü kazı öncesi yapılan hazırlık işlemlerinin tür ve etkinlikleri de ayrı bir parametre olarak nitelenebilir, örneğin; patlayıcı madde ile gevşetme ya da ripleme gibi.

## 3 VERİ TOPLAMA YÖNTEMLERİ VE KULLANIMI

Kazılabilirlik için veri toplama yöntemleri aşağıda gösterildiği gibi üç ana grupta sınıflandırılabilir:

- Deneme Kazısı Yöntemi
- Sondaj Yöntemi
- Jeofiziksel Yöntemler

### 3.1 Deneme Kazısı Yöntemi

Bu yöntem, söz konusu olan kayaç içinde açılacak yarma veya çukurlar içinde kullanılması düşünülen kazı aracının denenmesi ve performansının gözlenmesi sonucu elde edilen verilerin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Sığ derinliklerin dışında deneme amacıyla olsa bile bu araştırma çukurlarının açılmasının

hayli güç olacağı şüphesizdir. Ayrıca oldukça sınırlı bir kazı işleminden elde edilen bu verilerin tüm ruhsat sahası için geçerli olabilmesi için kayacın fiziksel ve yapısal özelliklerinin deneme kazısının yapıldığı yere kıyasla artan uzaklıkla nasıl bir değişme gösterdiğinin belirlenmesi şarttır.

### 3.2 Sondaj Yöntemi

Arama ve rezerv tespiti çalışmaları için yapılan karotsuz sondaj işlemlerinde kullanılan sondaj makinalarının performansını sürekli kaydedici ölçme yöntemleri geliştirilmektedir. Bu yöndeki gelişmelerle kullanılan delici makina performansı ile delinen kayacın özelliklerinin korelasyonu imkânı söz konusu olmaktadır. Bu konuya ilişkin laboratuvar düzeyinde birçok araştırmalar yapılmıştır. Bunlardan tortul kayaçlar üzerinde yapılmış bir araştırmada delici uca uygulanan yük ve delme hızı oranı ile kayacın tek eksenli basma dayanımı arasında doğrusal bir ilişki gözlenmiştir (Fish, 1961). Bir bakır açık işletme ocağında ateşleme deliklerinin açılmasında kullanılan döner matkaplı delicinin hidrolik baskı kuvveti ve ilerleme hızından yararlanılarak bir kayaç kalite indisi geliştirilmiştir. Bu indisten ateşleme ve kazı işlerinin planlanmasında etkin bir şekilde yararlanılmıştır. Döner yöntemle delik delme işleminde sondaj makinasının kullanımına ilişkin önemli değişkenler; delici uca uygulanan yük, delici uç devir sayısı, kullanılan su/çamur/hava besleme hızı, ilerleme hızı ve döndürme momenti olmaktadır. Günümüzde, bu parametreleri aynı anda ve sürekli olarak kaydedebilecek ölçme sistemleri ticari olarak geliştirilmiştir (Lutz, 1981). Bu tür verilerin değerlendirilmesi sırasında unutulmaması gereken nokta, delici uçtaki aşınmanın delici makinanın performansını etkileme durumudur. Delme işlemi sırasında elde edilen bu veriler kayacın fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde çok yararlı olabilir. Fakat diğer önemli bir etken olan çatlak ve tabaka türünden süreksizliklerin durum ve sayıları hakkında yeterli bilginin

bu verilerin analizinden elde edilmesi çok güç görülmektedir.

Açık delik sondajcılığı dışında sondajlardan elde edilen karotlar, kazılacak kayacın ilk fiziksel örnekleri olduğundan çok değerli olmaktadır. Karot loglarının düzenlenişi, karotlar üzerinde yapılan deneyler ve bunların sunuluş tarzı kazılabilirliğin belirlenmesinde yararlanılabilecek jeoteknik veri açısından oldukça önemlidir.

Karot numunelerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan iki indis bulunmaktadır. Bunlar; çatlak frekansı (Fracture Frequency) ve kayaç kalite tanımı anlamına gelen RQD (Rock Quality Designation) olmaktadır. Çatlak frekansı; karot örneği üzerindeki doğal çatlak sayısını içermekte olup, 1 m uzunluğa düşen çatlak sayısını tanımlamaktadır. RQD ise; boyları 10 cm' nin üzerinde olan karot parçalarının toplam karot uzunluğuna olan oranının yüzde olarak ifadesidir. Bu iki indisten özellikle çatlak frekansı, kazılabilirlik açısından, büyük önemi olan, kayaç kütlelerini oluşturan blokların boyutlarının tahmininde yararlı olabilecek bir parametredir. Kömür çevre kayaçları, yapısal olarak birtakım süreksizlikler içermektedir. Bunlardan en önemlileri katmanlaşma yüzeyleri ve genellikle bunlara dik bir açıyla oluşmuş çatlaklardır. Bu süreksizlik yüzeylerinin dağılımı, konumları ve kesişme aralıkları blokların boyut ve şekillerini belirlemektedir. Kazı aracının performansı açısından bu blokların boyut ve şekilleri temel etkenlerden birisi olmaktadır.

Kayaçların basma ve çekme dayanımları karot örnekleri üzerinde çeşitli deneylerle laboratuvarında belirlenebilir. Bunun dışında arazide kolaylıkla uygulanabilecek bazı pratik deney araçlarından da yararlanılabilir. Bunlar nokta yükleme deney aygıtı, NCB iğne uçlu delicisi ve Shore Skleroskopu gibi aygıtlar olmaktadır. Bunlardan iğne uçlu delicisi ve Shore Skleroskopu ile küçük karot parçaları üzerinde yapılan deneyler sonucunda belirlenen sertlik değerlerinden yararlanarak tek eksenli basma dayanımların yaklaşık olarak tahmin etmek mümkündür.

### 3.3 Jeofiziksel Yöntemler

Kazılabilirlikle ilgili veri toplamada yararlanılabilecek jeofiziksel yöntemler, prensip olarak üç alt grup şeklinde ayrılabilirler:

- Sismik Refraksiyon Yöntemi (Seismic Refraction)
- Çapraz Delik Sismik Yöntemi (Crosshole Seismic)
- Wireline Jeofiziksel Loglama Yöntemi (Wireline Geophysical Logging)

Sismik refraksiyon yöntemi, P-dalga hızlarının yeryüzünde belirli aralıklarla yerleştirilmiş jeofonlar aracılığıyla ölçülmesine dayanır. Arazide belirlenen kayaç kütlelerinin P-dalgalarını iletişim hızından yararlanılarak dayanım, yoğunluk, ayrışma derecesi ve çatlak durumu yaklaşık da olsa tahmin edilebilmektedir. Kayacın çatlak durumunu belirlemek amacıyla bir Hız Oranı İndisi (Velocity Ratio Index) geliştirilmiştir (Deere, 1968). Bu indis arazide ölçülen ses yayılma hızının aynı kayacıdan alınmış ve çatlak içermeyen örnekler üzerinde laboratuvarında ölçülmüş hıza olan oranıdır. Bu indis 1'e yaklaştığında kayacın yapısal olarak masif yapılı yani içinde fazla sayıda çatlak bulunmadığı şeklinde yorumlanmaktadır. Bu indisten yararlanarak kömür çevre kayaçları içinde çatlak dağılımının yaklaşık olarak belirlenebileceği gösterilmiştir (Müftüoğlu, 1983). Ayrıca P-dalga hızlarına göre bazı kayaç türleri ve ripereleme işleminde kullanılabilecek ripere türünü belirlemeye yarayan abaklar da geliştirilmiştir (Caterpillar, 1996).

Çapraz delik sismik yönteminde ses dalgalarının yayılma hızları sondaj delikleri arasında belirlenmektedir. Bu amaçla açılmış sondaj deliklerinden birine ses kaynağı, diğer delik ya da deliklere alıcılar indirilmekte ve her seferinde verici ve alıcıların seviyeleri birlikte değiştirilerek değişik seviyelerde sesin yayılma hızları ölçülmektedir (Butler, 1981).

Wireline jeofiziksel loglama yönteminde, sondaj deliği içerisine indirilmiş ve üzerinde

çeşitli verici ve alıcılar bulunan bir ölçme borusunun düşük bir hızla yukarı doğru çekilmesi sırasında, kayaktan yansıyan sinyallerin yeryüzünde bulunan aygıtlarla kaydedilmesine dayanmaktadır. Bu şekilde, kayaların bazı fiziksel özellikleri ortalama olarak saptanmaktadır. Bu amaçla, belirlenmesi arzulanan fiziksel özelliklere göre değişik türde loğlar kullanılmaktadır (Telford, 1976). Kömür çevre kayaları için litolojik ünitelerin belirlenmesi gama ve yoğunluk loglarından yararlanmak suretiyle kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.

Sonuç olarak; kayaların dayanım özellikleri, gerek karotlar üzerinde yapılacak deneylerle ve gerekse jeofiziksel yöntemlerle belirlenebilir. Ayrışma derecesinin saptanması ise karot örneklerinin dikkatle incelenmesiyle gerçekleştirilebilir. Katmanlaşma düzlemleri süreksizliklerinin dağılımı karotlar üzerinde yapılacak gözlemlerden, eğer bu mümkün değil ise akustik genlik loglarından yararlanılarak ortalama olarak ölçülebilir. Gerek katman, gerekse yapraklanma (lamination) düzlemleri bu loğlarda sinyal genliğini belirgin olarak azaltıcı yönde etkilemektedirler (Telford, 1976). Belirlenmesi en güç olan parametre, katmanlaşma düzlemlerine dik olarak oluşan çatlaklar ve bunların dağılımlarıdır. Bunların tahmininde sismik refraksiyon ya da çapraz delik sismik yöntemiyle ölçülebilecek ses yayılma hızları ve hız oranı indislerinden yararlanılabilir. Hız oranı indislerinin oluşturulmasında sondaj delikleri içinde kayacın ses iletim hızını saptamak için sonik loğlar da düşünülebilir.

## 4. KAYAÇLARIN VE ZEMİNLERİN KAZILABİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN TAYİNİ

### 4.1 Kayaçların jeolojik kökenlerine göre kazılabilirlik özellikleri

#### 4.1.1 Magmatik Kayaçlar

Ergimiş magmanın yer kabuğu derinliklerinde veya yüzeyde soğumasıyla oluşmuşlardır. Hemen hemen hiç katmanlaşma göstermeyen masif kayaçlardır. Örtü kazı işlerinde en sık karşılaşılan

magmatik kayaçlara örnek olarak granit, siyenit, bazalt ve dolerit gösterilebilir.

Yeterince ayrışmaya uğramamış magmatik kayaçların mekanik kazı araçlarıyla doğrudan kazılmaları olanaksızdır, ancak patlatma ile gevşetildikten sonra kazılabilirler.

#### 4.1.2 Başkalaşım Kayaçları

Kayaçların basınç ve ısı etkisiyle değişime uğramaları sonucu, fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişmesi "başkalaşım" olarak bilinmektedir. Düşük ısı ve tek yönlü basınçla karakterize olan Fillat gibi başkalaşım kayaçları yapraksı yapıdadırlar ve normal olarak kolay kazılırlar. Ancak, çok yönlü yüksek basınç ve ısı koşullarında oluşan mermer, gnays ve kuvarsit gibi kayaçlar çok sıkı ve sert yapıdadırlar, normal olarak patlatma ile parçalanıp gevşetilebilirler.

#### 4.1.3 Çökel Kayaçlar

Daha önce oluşmuş kayaçların dış etkilerle ufak parçalara bölünüp ayrışması ve çeşitli kuvvetlerle taşınıp karalarda veya sularda çökmesiyle oluşmuşlardır. Şeyl, kireçtaşı, kumtaşı, marn ve konglomera bu gruba örnek olarak verilebilir.

Çökel kayaçlar, katmanlı yapıları ve diğer tür kayaçlara göre daha fazla olan su hareketinin kayaç yapısını bozma etkisi gibi nedenlerden dolayı, görece daha kolay kazılırlar.

### 4.2 Kayaçların Jeoteknik Özelliklerine Göre Kazılabilirlik Özellikleri

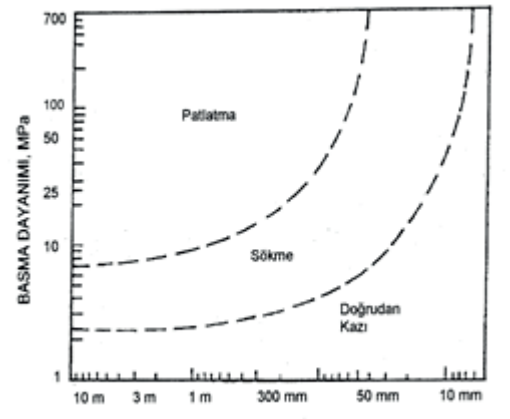
Son yıllarda, değişik araştırmacılar tarafından önerilen sınıflandırma sistemleri yardımıyla kayaçların kazılabilirlik özellikleri hakkında daha ayrıntılı bilgilerin elde edilmesi mümkün olmuştur. Bu bölümde, önerilen bazı sınıflandırma sistemlerine ve kullanılan jeoteknik kriterlere ana hatlarıyla değinilecektir.

- Kayaçların mekanik kazı araçlarıyla kazılabilirlikleri ile ilgili ilk araştırmalar 1958 yılında Caterpillar firması tarafından başlatılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, kayaçların arazide ölçülen sismik hız

değerleri ile sökücü makine tiplerine bağlı olarak sökülebilirlik abakları yayınlanmıştır.

- Sismik yöntemin esası, sismik dalgaların kayalardan geçebilmesi için gerekli zamanın kaydedilmesi prensibine dayanmaktadır. Ses dalgalarının kayalardan geçiş hızları kayaların fiziksel özelliklerine bağlıdır. Dalga hızının yüksek veya düşük olması, incelenen kayaç kütesinin kalitesi hakkında bilgi vermektedir. Günümüzde, sismik hızı yaklaşık 2800 m/s ye kadar olan formasyonların sökücüler tarafından kazılabileceği, daha yüksek hızlara sahip formasyonların gevşetilmesinde ise delme-patlatma yönteminin gerekli olacağı anlaşılmaktadır.

- Sismik yöntem sondaj yöntemine göre geniş alanları süratle inceleme olanağı sağlamasına rağmen, tek başına göz önünde bulundurulduğunda,



Şekil 1 Süreksizlik aralığı ve tek eksenli basma dayanımı ile kazılabilirlik kestirimi (Franklin, Broch ve Walton, 1970).

- Kayaçların değişik kazı yöntemleriyle kazılabilirliklerini göstermekte olan bu diyagramda önerilen sınırların kesin sınırlar olmadığı, uygulamalardan elde edilecek çok sayıdaki verilerin bu tip bir sınıflandırma diyagramı üzerine işlenmesiyle daha güvenilir sınırların elde edilebileceği yazarlar tarafından vurgulanmıştır.

- Abdullatif ve Cruden (1983), tünelticilik tasarımlarında kullanılmak üzere geliştirilen Bieniawski'nin Jeomekanik Sınıflama Sistemi (RMR) ile Barton ve arkadaşlarının Kayaç her zaman güvenilir sonuçlar verememektedir. Bu husus, kayaçların diğer fiziksel ve mekanik özelliklerinin

değerlendirildiği kazılabilirlik sınıflandırma sistemlerinin geliştirilmesinde önemli rol oynamıştır.

- Franklin ve arkadaşları (1970) mühendislik uygulamaları bakımından en önemli jeoteknik özelliklerin kayaç malzemesinin mekanik dayanımı (nokta yükleme indeksi veya tek eksenli basma dayanımı) ile süreksizlik aralığı olduğunu kabul ederek, bu iki parametre yardımıyla grafik şeklinde gösterilebilen iki boyutlu bir sınıflandırma sistemi önermişlerdir (Şekil 1).

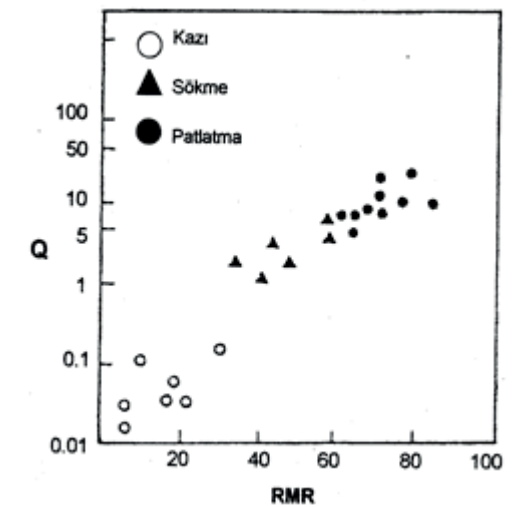
- RMR sisteminde altı temel parametre kullanılmıştır, bunlar; tek eksenli basma dayanımı, kaya niteliği belirteci (RQD), süreksizlik aralığı, süreksizlik pürüzlülüğü ve ayırımı, yeraltı suyu durumu ve süreksizliklerin yönelimidir. Q sistemini oluşturan parametreler ise; RQD, süreksizlik takımı sayısı, süreksizlik pürüzlülük sayısı, süreksizlik alterasyon sayısı, süreksizlik suyu indirgeme faktörü, gerilme indirgeme faktörüdür.

- Yukarıda anılan çalışma sonucunda, RMR sistemi ile kayaçların kazılabilirlik özelliklerinin daha belirgin olarak kestirilebileceği öne sürülmüştür. Buna göre, uygulanacak kazı yöntemi

- RMR < 30 Paletli yükleyici/dozer/hidrolik ekskavatör

- RMR 30-60 Paletli sökücüler

- RMR > 60 Delme-patlatma olarak



Şekil 2 Kazı yöntemlerinin RMR ve Q sistemlerine uygulanması (Abdullatif ve Cruden, 1983)

- Weaver (1975) ve Bieniawski (1973) RMR sisteminde kullanılan jeoteknik parametreleri ve sismik hızı kullanarak bir sökülebilirlik sınıflandırma sistemi önermiştir. Sınıflamada kullanılan parametreler ağırlıklı puanlama yöntemi ile değerlendirilmektedir. Toplam puanlaması 70-100 arasında olan formasyonların delme patlatma yöntemi ile gevşetilmeye uygun olduğu belirtilmiştir. Daha düşük puanlar için değişik güçlerde sökümler önerilmektedir.

- Kirsten (1982), Barton'un Q-sistemi üzerinde bazı değişiklikler yaparak bir Kazılabilirlik Sınıflandırma İndisi (N) önermiştir.

$$N=Ms. (RQD/Jn).Js.(Jr/Ja) \quad (1)$$

Burada;

Ms: Kayacın tek eksenli basma dayanımı

RQD/Jn: Ortalama blok boyutu

Jn : Süreksizlik takımı sayısı

Js: Relatif zemin yapısı

Jr/Ja : Pürüzlülük ve alterasyon derecesinin süreksizlik yüzeylerinde dayanımına etkisidir.

- Sınıflandırma indisi  $N>1000$  olan formasyonların delme-patlatma ile gevşetilebileceği ve daha alt indeks değerleri için, N değerlerine bağlı olarak, değişik güçlerde sökümlerin kullanılabilmesi bildirilmiştir.

- Müftüoğlu ve Scoble (1985) tarafından geliştirilen Kazılabilirlik Puanlama Sistemi kayacın mekanik dayanımı, ayrışma derecesi, çatlaklar arası mesafe ve katmanlaşma kalınlığı parametrelerini esas almaktadır. Bu parametreler Çizelge 1'de görüldüğü gibi, ağırlıklı puanlama sistemiyle değerlendirilerek kazı kolaylığı önceden kestirilebilmektedir. Toplam puanlaması  $>110$  olan formasyonlar için delme-patlatma yöntemi ile gevşetme, daha alt sınıflar için ise toplam kazılabilirlik puanlarına bağlı olarak değişik türlerde kazı araçları önerilmektedir (Çizelge 2).

- Ceylanoğlu ve ark. (2007) kazılabilirlik ve riperlenebilirlik üzerine bir çalışma yaparak yeni bir sınıflama sisteminin önerilmesi

konusunda yaptıkları çalışma sonucunda sismik hız, çatlak aralığı, tek eksenli basınç dayanımı, ayrışma derecesi ve sertlik olarak beş parametre önerilmiştir. Bu sınıflama sistemi daha önceki sınıflama sistemleri kazılabilirlik değerlendirme sonuçları dikkate alınarak belirlenmiştir. Önerilen sınıflama sistemine göre kaya birimlerinin kazılabilirlik değerlendirmesinde toprak kolay kazı zorluğu sınıfında, üst seviye sölesit, alt seviye sölesit, killi kireçtaşı, krom orta kazı zorluğu sınıfında ve manyetit, siyenit, serpantin, silisli kalker, jips, anhidrit, kireçtaşı, gabro, dünit orta-zor kazı zorluğu sınıfında belirlenmiştir.

- Gürocak ve ark. (2008) Kapıkaya barajındaki kayaların şev stabilitesi ve kazı yapılabirliğini değerlendirmişlerdir. Süreksizliklerin tek eksenli basınç dayanımı, young modülü, birim ağırlık, nokta yük dayanımı ve kesme mukavemeti parametreleri arazi ve laboratuvar deneyleriyle ortaya konmuştur. Çalışma sonucunda sahada kama ve düzlemsel kayma beklenmeyeceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca diabazların sağ eğimli olanlar için kolay kazılabilir, sol eğimli olanların ise kolay-zor kazılabilir sınıfta olduğu belirlenmiştir.

- Karaman ve ark. (2013) Kireç taşı ocağında yamaç stabilitesi ve kaya kazısı yapılabirliğini değerlendirmişlerdir. Kaya yamaçlarındaki süreksizliklerin özelliklerini belirleyerek duraylılığa etkisi kinematik deneylerle belirlenmiştir. Bunun yanında süreksizlik özellikleri, sürtünme açısı gibi jeoteknik parametreler de değerlendirilerek şev duraylılığına etkileri ortaya konmuştur.

- Özkan ve ark. (2015) Maden kuyuları kararlılık analizinde kullanılan jeoteknik sınıflandırmalar için eklemlili kaya kütlelerinin karakterizasyonu konusunda bir çalışma yaparak başlangıçta kayaçları RMR ve Q sınıflama sistemlerine göre sınıflamışlardır. RMR sınıf sisteminin giriş parametrelerindeki zorluk nedeniyle M-RMR (modifiye RMR) kullanılarak yeni bir sınıflama yoluna gidilmiştir.

- Yaşar ve ark. (2014) Kayaçların kırılma özellikleri ile kazılabilirlik parametreleri

arasındaki ilişkilerini inceleyerek tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, cerchar aşınma indeksi ve kırılgenlik indeksi kıyaslanarak kayalarda kırılgenlik özelliklerinin kazılabilirlik ile anlamlı ilişkileri ortaya konmuştur.

- Kentli ve Topal (2004) Pozantı otoyolunun bir bölümü için kaya kazılabilirlik ve stabilite konusunda bir çalışma yapmışlardır. Ankara-Pozantı otoyolunun Çiftehan-Pozantı kesimi, litolojisinden dolayı oldukça sorunlu bir bölge olarak ortaya çıkmaktadır. Çalışma alanında rekristalize kireçtaşı, mikrogabro, konglomera ve Kuvaterner yatakları açığa çıkarılmıştır. Kesilen yamaçlarda genellikle mikrogabro ve konglomera içerisindedir. Kazı yapılabilirliği incelendiğinde, kayaların taze iç kısmı için bölgesel patlatma ve ripperleme yapılması önerilmiştir.

- Göktan ve İphar (2013) açık işletmelerde kayaç sökülebilirlik tayin yöntemleri

konusunda yaptıkları çalışmada özellikle açık işletmelerde örtükazı işlerinde örtü malzemesinin uygun koşullarda kazılması amacıyla kayaç sökülebilirliği kestirimi için geliştirilen çeşitli yöntemleri denemişlerdir. Yapılan çalışma ile sınıflama sistemlerinin genellikle geliştirildikleri ortamı ve pratiğini yansıtmamasından dolayı her sahaya birebir uymayacağı sonucuna varılmış ve çalışılacak her saha için birkaç yöntemin birlikte değerlendirilmesiyle uygun bir sınıflama sisteminin uygulanabileceğine karar verilmiştir. Dikkat çekilen ikinci bir husus ise bazı sınıflama sistemlerinde uygulayıcı tarafından sübjektif olarak değerlendirilebilecek sınıflama parametrelerinin varlığıdır. Bu nedenle, uygulamada kişisel yorumlara en az yer veren ve kolay uygulanabilir yöntemlerin tercih edilmesi önerilmiştir.

Çizelge 1- Kazılabilirlik parametre puanlama sistemi (Müftüoğlu ve Scoble, 1985)

Özel Parametre	SINIF				
	I	II	III	IV	V
Ayrışma Derecesi	Tümüyle	Oldukça	Orta	Hafifçe	Ayrışmamış
Puanlama (AD)	0	5	15	20	25
Tek Eksenli Basma	<20	20-40	40-60	60-100	>100
Basma Dayanımı (MP <sub>a</sub> )	<0.5	0.5-1.5	1.5-2	2-3.5	>3.5
Nokta Yük İndeksi I <sub>s</sub> (50)	<0.5	0.5-1.5	1.5-2	2-3.5	>3.5
Puanlama (B Dn)	0	10	15	20	25
Çatlaklar Arası Mesafe(m)	<0.3	0.3-0.6	0.6-1.5	1.5-2	>2
Puanlama (Ç)	5	15	30	45	50
Katmanlaşma Kalınlığı(m)	<0.1	0.1-0.3	0.3-0.6	0.6-1.5	>1.5
Puanlama (K)	0	5	10	20	30

Çizelge 2- Kazılabilirlik sınıflandırması (Müftüoğlu ve Scoble, 1985)

Sınıfı	Kazı Tanımı	Toplam Kazılabilirlik Puanı (AD+BDn+Ç+K)	Kazı Türü	Kazı Aracı (Patlayıcı Madde Kullanmaksızın)
1	Çok Kolay	5 - 40	Riperleme	Riper-Skraper Caterpillar D8 Ripperli
			Çekme kepçe ile Kazı	Çekme kepçe >5m <sup>3</sup> (*) Lima 2400
			Kepçeli Yer kazar ile Kazı	Halatlı Kollu Yer kazar >3m <sup>3</sup> (Rope Shovel) Ruston Bucyrus 71 RB
2	Kolay	40 - 50	Riperleme	Riper-Skraper Caterpillar D9 Ripperli
			Çekmekepçe ile Kazı	Çekme kepçe > 8m <sup>3</sup> Marion 195
			Kepçeli Yer kazar ile	Halatlı Kollu Yer kazar >5m <sup>3</sup> Ruston Bucyrus 150 RB
3	Biraz Zor	50 - 60	Riperleme	Riper-Kep. Yrkz./Ek.Kol.Kep. Yük.Caterpillar D9 Ripperli
			Kepçeli Yer kazar ile	Hidrolik Kep. Yrkz. > 3m <sup>3</sup> Caterpillar 245
4	Zor	60 - 70	Riperleme	Riper-Kep. Yrkz./Ek. Kol. Kep. Yük. Caterpillar D10 Ripperli
			Kepçeli Yer kazar ile Kazı	Hidrolik Kep. Yrkz. >3m <sup>3</sup> Cat. 245 veya O &K RH40
5	Oldukça zor	70 - 95	Kepçeli Yer kazar ile Kazı	Hidrolik Kep. Yrkz. > 3m <sup>3</sup>
6	Çok Zor	95 - 100	Kepçeli Yer kazar ile Kazı	Hidrolik Kep. Yrkz. >7m <sup>3</sup> Demag H111 Podain 1000CK P&H1200 O &K RH75
7	Gevşetilme Olmaksızın Pek Zor	100 - 110	Kepçeli Yer kazar ile Kazı	Hidrolik Kep. Yrkz. > 10m <sup>3</sup> Demag H 241 O &K RH300

(\*) : Kepçe Kapasitesi

AD: Ayrışma Derecesi

Ç: Çatlaklar arası Mesafe

BDn: Basma Dayanımı

K: Katmanlaşma Kalınlığı

Toplam Kazılabilirlik Puanı (KP)

KP=AD+BDn+Ç+K'dır.

(2)

Riper-skraper uygulamaları 1 ve 2. sınıflar için mümkün görülmektedir. Bunun da nedeni, riper tarafından kazılan malzemenin

skapere doldurulup uzaklaştırılması için; yığındaki parça boyutunun bir hayli küçük olması zorunluluğundan kaynaklanmaktadır. Aynı şekilde, hiçbir ön hazırlık işlemi olmaksızın çekme kepçe ile örtü kazı yapılması yine 1. ve 2. sınıflar içinde sınırlanmıştır. Kepçe üzerine uygulanabilecek kazı kuvvetinin, çok düşük düzeyde oluşundan örtü kazabilme etkinliği zayıf olan çekmekepçelerin iri bloklardan oluşan kayalar içinde gevşetilme yapılmaksızın kullanılmaları üretim açısından tatminkar olmayacaktır. 3 ve 4. sınıflar için ripereleme yaparak örtü kazı hazırlığı mümkün görülmektedir. Bu işlem için, 1 ve 2. sınıflara kıyasla daha güçlü ripeler önerilmiştir. Kazılabilirliğin daha zor olduğu 5,6 ve 7. sınıflar için yalnız hidrolik kepçeli yer kazalar önerilmiştir. Bu sınıfları oluşturan kayalar, genellikle sağlam ve masif yapılı olacaklarından kazı açısından büyük bir direnç söz konusudur. Bilindiği gibi bu tür yer kazalar, diğer halatlı kollu tiplere kıyasla en büyük üstünlükleri olan, hidrolik sistemle konumu istenildiği şekilde ayarlanabilen kepçe üzerine, oldukça büyük kazı kuvvetleri uygulanabildiğinden, kazı işlemini daha kolay ve etkin bir şekilde

yapabilme avantajına sahiptirler. Etkin kazı özelliklerinden örtü hidrolik kepçeli yer kazalar, açık işletmecilikte sürekli artan sayılarda kullanılmaktadır. 5, 6 ve 7. sınıflar için, ripelerin kullanımı uygun görülmemektedir. Yapısal olarak geniş aralıklı süreksizlikler içeren, dolayısıyla iri bloklardan oluşan kayalarda en güçlü ripelerin bile kullanımı başarısızlıkla sonuçlanmıştır.

Scoble ve arkadaşları (1987) tarafından geliştirilen Kazılabilirlik İndisi(EI):

$$EI = (I_s + B_s) W J_s \quad (3)$$

$I_s$ = Nokta yük dayanım indisi,

$B_s$ = Blok boyutu indisi,

$W$ = Ayrışma indisi,

$J_s$ = Relatif zemin yapısı indisi.

Bu parametrelere Çizelge 3’ te görülen ağırlık puanları verilmekte ve (3) nolu eşitlik ile kazılabilirlik indisi bulunmaktadır. Daha sonra , elde edilen (EI) değerine göre Çizelge 4’ten kayacın kazı kolaylığı hakkında fikir edinilmektedir.

Çizelge 3 Kazılabilirlik indisi puanlama sistemi (Scoble ve arkadaşları, 1987)

Özel Parametre	SINIF				
	I	II	III	IV	V
Ayrışma Derecesi	Tümüyle	Yüksek	Orta Derecede	Hafif	Ayrışmamış
Puanlama (W)	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Nokta Yük İndeksi (MPa)	<0.5	0.5-1.5	1.5-2	2-3.5	>3.5
Puanlama ( $I_s$ )	0	10	15	20	25
Blok Boyutu (Çatlak/m <sup>3</sup> )	Çok küçük >30	Küçük 10-30	Orta 3-10	İri 1-3	Çok iri <1,0
Puanlama ( $B_s$ )	5	15	30	45	50
Relatif Zemin Yapısı	Çok uygun	Uygun	Hafif Uygun	Uygun değil	Hiç uygun değil
Puanlama ( $J_s$ )	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5

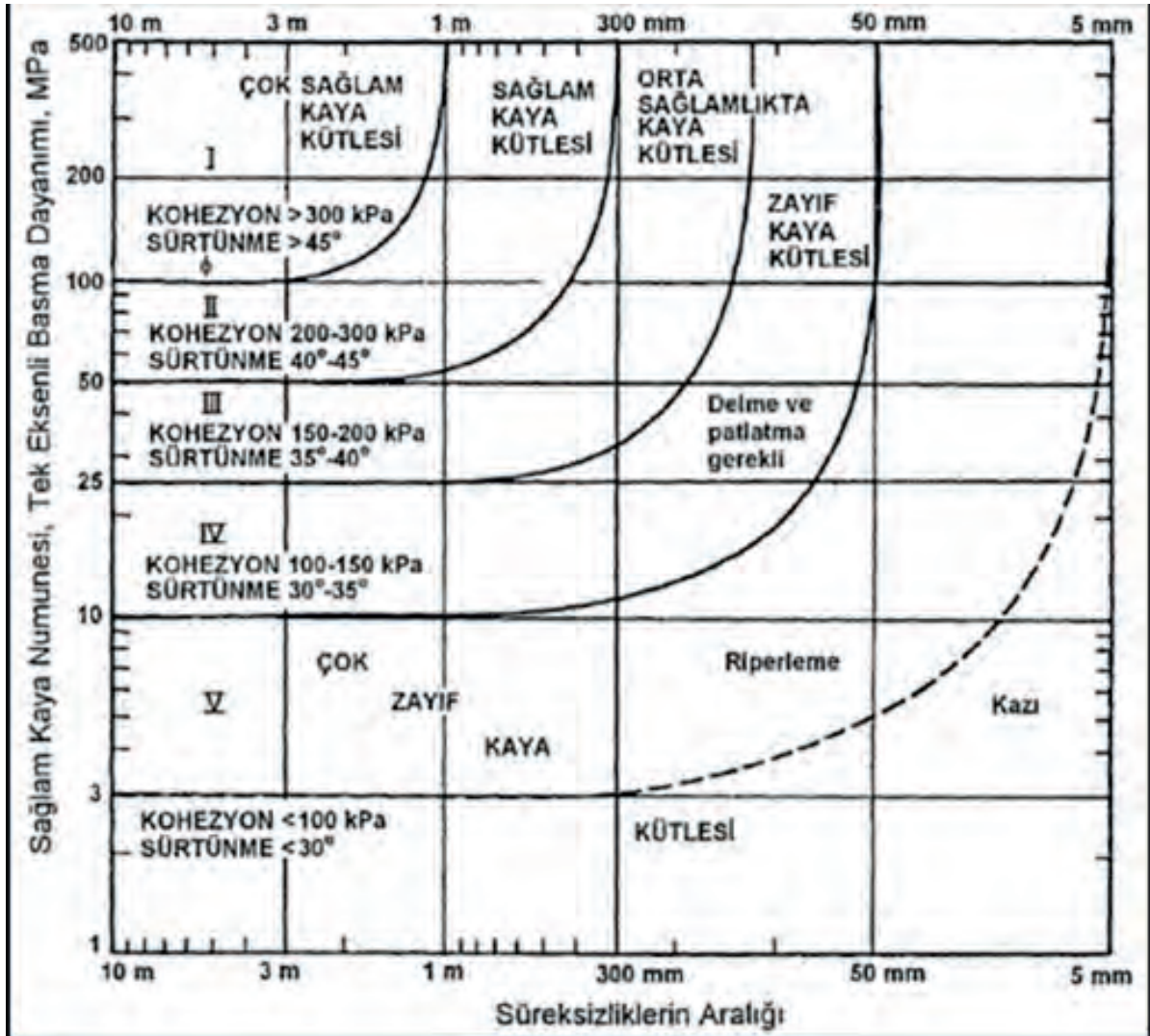


Çizelge 4 Kazılabilirlik sınıflarının tanımı (Scoble ve arkadaşları, 1987)

Sınıf	Kazı Kolaylığı	Toplam Kazılabilirlik İndisi (EI)
I	Çok kolay	<20
II	Kolay	20-30
III	Zor	30-45
IV	Çok zor	45-54
V	Delme - Patlatma	>54

Ünal ve Tutçu (1986) sağlam kaya numunelerini süreksizlik aralığı, tek eksenli basma dayanımı, kohezyonu ve içsel

sürtünme açılarına göre değerlendirerek bir kazılabilirlik sınıflandırması yapmışlardır (Şekil 3



Şekil 3 Çatlaklı kaya kütlelerinde dayanım diyagramı (Ünal ve Tutçu, 1986)

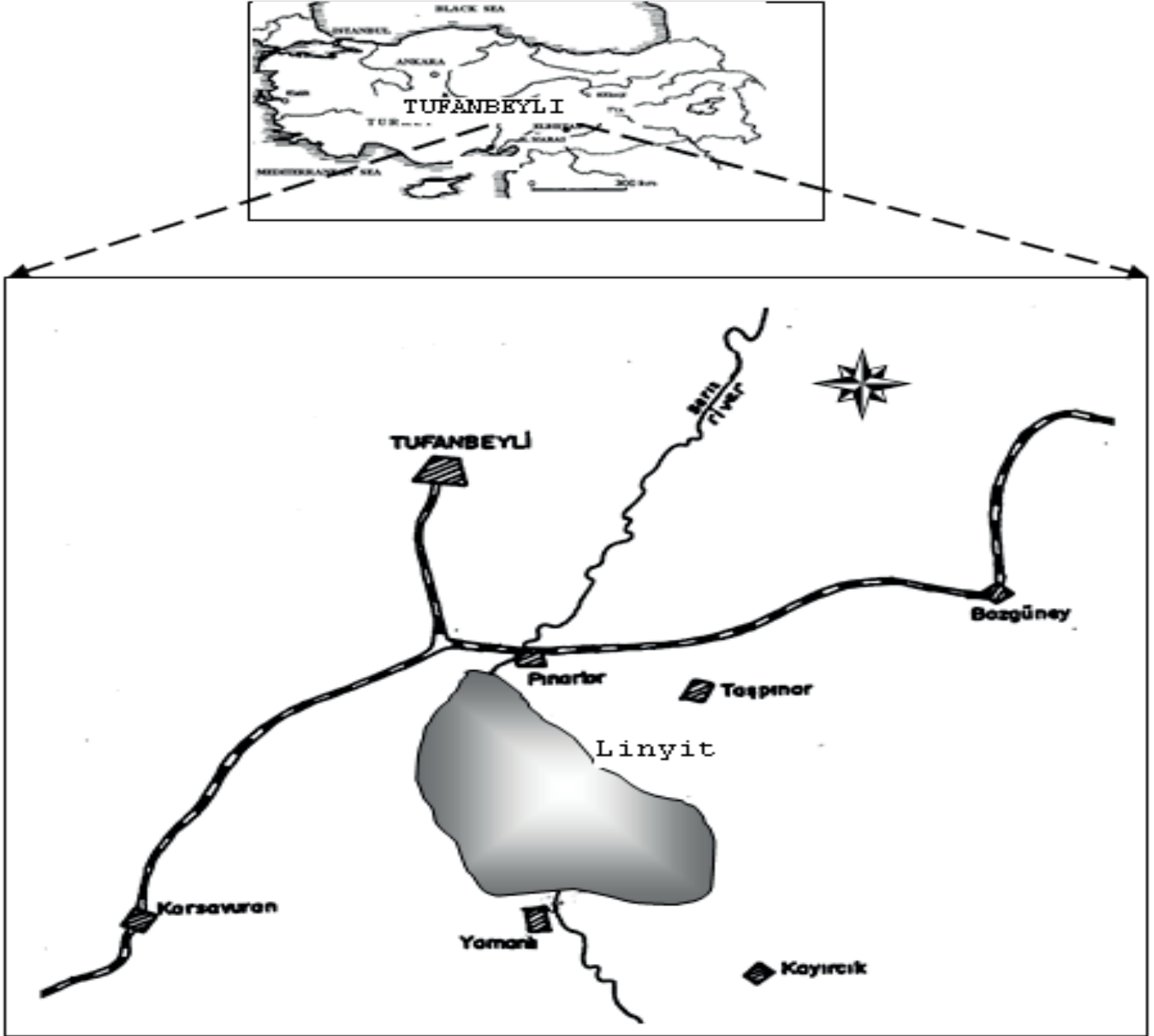
## 5. TUFANBEYLİ LİNYİT SAHASININ TANITILMASI

Tufanbeyli’ de bulunan, MTA Genel Müdürlüğü’ne ait, ÖİR 4289 ve ÖİR 2767

no’lu ruhsat sahaları, 1/25000 ölçekli Elbistan L36, a3, b4, c1, d2 paftalarında yer almakta ve toplam 41.37km<sup>2</sup>’lik bir alanı kaplamaktadır.

MTA Genel Müdürlüğü tarafından sahada 1985 yılında Jeolojik etütle başlayan çalışmalar 1989 ve 1990 yıllarında rezistivite, yüksek ayrımlı sağ sismik ve yapılan 19 adet sondajlı arama çalışmaları ile

tamamlanmıştır. Bu çalışmaların değerlendirilmesiyle sahadaki kömür rezervi hesaplanmıştır. Linyit havzası Adana'ya 130 km mesafedeki Tufanbeyli ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır (Şeki4).



Şekil 4 Adana /Tufanbeyli linyit havzası yer bulduru haritası

Birbirlerinin mücaviri olan iki ruhsatın yer aldığı kömürlü saha kenarlara doğru yükselen hemen hemen düz bir ova görünümündedir. Sahadaki en büyük akarsu sahanın ortasında kuzeyden güneye doğru akan Sarız ırmağıdır. Saha Akdeniz Bölgesi içerisinde yer almasına karşın, daha çok İç Anadolu Bölgesinin karasal ikliminin etkisi

altındadır. Bu nedenle yağışlar kış mevsiminde kar, ilkbahar ve yaz mevsiminde yağmur şeklindedir. Ortalama rakım 1400 metredir. Doğal bitki örtüsü tamamen yok olmuştur. Sarız ırmağı kenarındaki verimli alüvyon topraklarında şekerpancarı, fasulye daha yüksek ve kurak yerlerde ise nohut ve hububat tarımı yapılmaktadır. Yörede kış

mevsiminin soğuk ve kar yağışlı geçmesi nedeniyle çalışmalar ancak Nisan-Kasım ayları arasında yapılabilir. Adana-Tufanbeyli kara yolu sahanın yanından geçmektedir. Bu nedenle sahaya ulaşım son derece kolaydır.

## 5.1 Genel Jeoloji

### 5.2 Stratigrafi

Sahada yapılan etütler sonucunda iki ayrı birim ayırtlanmıştır.

- Temel Birimler
- Üst Pliyosen-Pleistosen Birimleri

#### 5.2.1 Temel Birimler

MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan etütler sonucunda bu birimler yaş veya litolojik olarak ayırtlanmamış, genel olarak Temel Birimler adı altında gösterilmiştir (MTA, 1993). Kömürlü birimin altında bulunan ve temeli oluşturan bu birimler Paleozoik ve Mesozoyik yaşlı kayalardan oluşmaktadır. Litolojik olarak çoğunlukla kireçtaşı-dolomit ve kuvarsitler. Litolojik özelliklerin benzer olmasına karşın doku ve yapı farklılıkları belirgin olarak gözlenebilmektedir.

Daha genç birimlere oranla aşınmaya karşı daha dayanıklı olmaları nedeniyle sahadaki önemli yükseklikleri oluşturmuşlardır.

#### 5.2.2 Üst Pliyosen-Pleistosen Birimleri

Tamamı sahada mostra vermeyen bu birimler aşağıdan yukarıya (Şekil 5) doğru beş ayrı birime ayrılmıştır (MTA, 1993).

*1 Konglomera Çakıllı Kil:* Kömürlü birimin tabanını oluşturan bu birim sahanın hiçbir yerinde yüzeylenmemektedir. Paleozoik – Mezozoik yaşlı birimlerden kopuk gelen çakıllardan oluşmaktadır. Havzanın ilk oluşumu sırasında yamaç molozu ve çamur akıntısı halinde gelmesiyle çökelmiştir. Kalınlığı 10-50m arasında değişmekte tabakalanma göstermemektedir.

*2 Kil-Kömür-Gidya:* Kil, silt ve ince taneli oluşur. 15-100 m arasında değişen kalınlığa sahiptir. 1,35 – 28,6 arasında değişen kalınlıkta kömür damarları içerir. Kömür damarları arasında Gidya tabakaları yer alır.

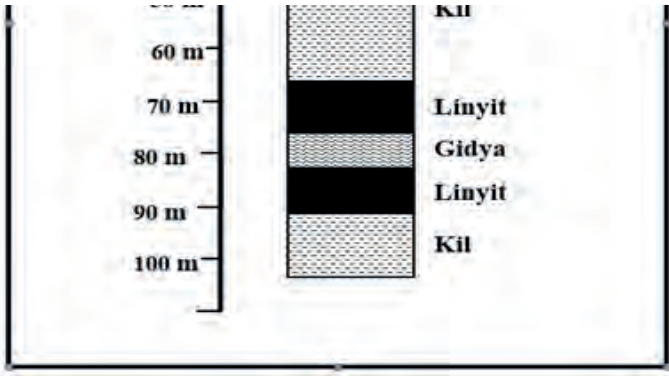
Yer yer bol olmak üzere tatlı su Gastropodları içerirler. Birim oldukça bol karbonatlı olup az tutturulmuştur.

*3 Ufak Çakıl Serpantinli Kil:* Kalınlığı 100-150m dolayında olan bu birim gri-yeşilimsi gri renkli, karbonatlı silt-ince kum mercekli ve ufak çakıl serpantinleri içerir ve tabakalanma gözlenmemiştir. Havza ortasında daha ince taneli olan bu birim havza kenarlarına doğru gittikçe kumtaşı ve konglomeralara geçiş yaparlar.

*4 Konglomera:* 100-150m arasında değişen kalınlığa sahip olan bu birim kötü boylanmalı, polijenik az tutturulmuş, belirsiz, yer yer çapraz katmanlı, kumtaşı mercekli, çamur akıntılı, sarımsı kahverengidir.

*5 Tüfit:* Erciyes volkanizmasına bağlı olarak oluşmuş, pembe renkli andezitik özellikteki bu birimin kalınlığı 0-5 m arasında değişir. Bu birimin en iyi görüldüğü yer Tilki Tepe'nin batı yamacıdır.

*6. Alüvyon:* Sarız ırmağı ve buna bağlı kolların kenarlarında gelişen tutturulmamış çakıl-kum ve kilden oluşmaktadır. Sahanın batısında oldukça geniş ve verimli alüvyal toprakları oluşturmuşlardır.



Şekil 5 Tufanbeyli/Adana Kömür Sahası Genelştirilmiş Stratigrafik Kesiti (MTA, 1993)

### 5.3 Yapısal Jeoloji

Temel birimler içerisinde yapısal olaylar oldukça etkindir. Ancak Üst Pliyosen ve Pleistosen birimleri içerisinde herhangi bir faylanmaya ve kıvrımlaşmaya rastlanmamıştır. 2-3 derecelik eğimler ise havzanın çanak şeklinde oluşundan kaynaklanmaktadır (MTA, 1993). Pliyosen başlarında Temel Birimlerinde oluşan faylanmalarla dağlar arası çöküntü havzası oluşmuş, bu havzaya kenarlardan gravite kaymaları ile akarsularla tabandaki konglomeratik birimler çökelmeye başlamıştır. Bir süre sonra bu havza sığ göl bataklık ortamı haline gelişmiş ve kömürlü biriminde bulunduğu birimler havzada oluşmaya başlamıştır. Bu oluşum pleistosen ortalarına kadar devam etmiştir. Üst pleistosen başlarında havza akarsu-alüviyal yelpaze özelliği kazanmış ve bu sırada üstteki konglomeratlar ve bunun da üzerine Erciyes volkanizması ürünü olan tüfitler çökelmişlerdir. Havza bugünkü görünümünü Holosende kazanmaya başlamıştır.

## 6. İNCELEME SAHASINDAKİ KAYA VE ZEMİN BİRİMLERİNİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Havzadaki örtü tabakasını oluşturan katmanlardan Silt ve Kıl, zemin özelliği gösterirken, Tüfit ve Konglomera kaya özelliğine sahiptir. Bu nedenle çalışmamızda, birimlerin jeomekanik özelliklerini belirlemek üzere hem zemin ve hem de kaya mekaniği deneylerinden yararlanılacaktır.

### 6.1 Saha Çalışmaları

Bu aşamada, laboratuvar deneylerini gerçekleştirmek üzere, örtü tabakasını oluşturan katmanlardan Silt, Tüfit ve Konglomera örnekleri Taşpınarlar ile Sarız ırmağı arasında yer alan Tilki Tepe mevkiinden alınmıştır. Kıl ve kömür katmanları arazide mostra vermediklerinden Zafer Madencilik A.Ş. tarafından gerçekleştirilen Z-7 ve Z-12 nolu karotlu sondajlardan sağlanan örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

### 6.2 Laboratuvar Çalışmaları

Silt, kıl ve kömür katmanlarına ilişkin mühendislik özellikleri, alınan blok ve karot numuneler üzerinde yapılan laboratuvar testleri ile saptanmıştır. Zemin mekaniği laboratuvar testleri ile silt, kıl ve kömür numunelerinin mühendislik sınıflandırmasının yapılabilmesi ve bazı mühendislik özellikleri hakkında bilgi elde edilebilmesi için ihtiyaç duyulan parametreler belirlenmiştir. Bu amaçla zeminlerin makaslama dayanım değerleri Çizelge 5' te doğal nem içerikleri, kıvamlilik limitleri (Atterberg Limitleri) ve indeks özellikleri uluslararası standartların öngördüğü test yöntemleri uygulanarak belirlenmiş ve deney sonuçları, ise Çizelge 6' da görülmektedir.

### Çizelge 5 Numunelerin Makaslama Dayanımları

	Kohezyon (Kpa)	İçsel Sürtünme Açısı (°)	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )
Siltli Kil	54,2	25,4	1,63
Kil	94,6	14,5	1,81
Kömür	210,3	30,3	1,11

Çizelge 6 Numunelerin Doğal Nem İçerikleri, Kıvamlilik Limitleri

Örnek No	Nem İçeriği (%)	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Likitlik İndisi	Zemin Tanımı	Zemin Gurubu
S1	33	54	20	34	0,38	Siltli Kil	CH
S2	29	48	25	23	0,17	Siltli Kil	CL
S3	35	56	25	31	0,32	Siltli Kil	CH
S4	30	53	21	32	0,28	Siltli Kil	CH
K1	26	78	24	54	0,04	Kil	CH
K2	35	70	33	37	0,05	Kil	CH
K3	37	80	29	51	0,16	Kil	CH
K4	36	66	32	34	0,12	Kil	CH
K5	27	39	21	18	0,33	Kil	CL
K6	27	40	19	21	0,38	Kil	CL

Tüf ve Kumtaşı numunelerinin basma dayanımları Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7 Tüf ve Kumtaşı Numunelerinin Basma Dayanımı Değerleri

	Kırılma Yüğü (kN)	Basma Dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü(kg/cm <sup>2</sup> )
T1	18,7	123	21263
T2	17,6	116	20052
K1	38,3	252	43561
K2	34,2	225	38895

## 7 SONUÇLAR

Havzadaki örtü tabakasını oluşturan katmanlardan yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla Silt, Kil, Tüfit ve Konglomera olup en altta da linyit kömürü katmanı bulunmaktadır. Bu katmanlardan alınan örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda bunların fiziksel ve jeomekanik özellikleri incelenerek siltli kil, kil ve kömür katmanlarının zemin özelliklerine sahip olduğu, tüfit ve konglomeranın ise kaya özelliği gösterdiği anlaşılmıştır.

Örneklerin fiziksel ve jeomekanik özellikleri değişik araştırmacılar tarafından ortaya atılan kazılabilirlik sınıflandırmalarına göre değerlendirildiğinde; siltli kil ve kil katmanlarının “Çok Kolay Kazı” sınıfına girdiği, herhangi bir delme-patlatma veya ripereleme işlemine gerek duyulmadan doğrudan, hidrolik ekskavatör, dragline veya döner kepçeli ekskavatör ile kazılabileceği görülmüştür.

Tüfit katmanları “Biraz Zor Kazı” sınıfına girmekte olup, Müftüoğlu (1985) ve Scoble (1987) tarafından yapılan sınıflandırmalara göre; ancak ripereleme yöntemi ile kazılabileceği anlaşılmıştır. Franklin (1970) ve Ünal (1986) tarafından yapılan sınıflandırmalara göre ise Tüfitin kazısı için delme patlatma yöntemi kullanılmalıdır.

Konglomera katmanları “Zor Kazı” sınıfına girmekte olup, bu katmanın kazısı için delme patlatma yöntemi uygulanmalıdır.

Bölgede killi ve siltli bölgelerde herhangi bir zemin hazırlama işlemine gerek kalmaksızın doğrudan kazı yapılabileceği, tüfit ve konglomera katmanlarında ripereleme ve delme patlatma gibi zemin hazırlama işlemlerine ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır.

## 8. KAYNAKLAR

Abdullatif, O., M., and Cruden, D., M., 1983. The relationship between rock mass quality and ease of excavation, Bulletin of the int. Assoc. of engineering geology, No: 28, pp. 183-187.

Bieniawski, Z., T., 1973. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, Rock mechanics, Vol. 6, No: 4, pp. 189-236.

Butler, D., K., and Curro, J., R., 1981. Cross-hole seismic testing procedures and pitfalls, Geophysics, Vol. 46, No: 1, pp. 23-29.

Caterpillar performance handbook, 1996. 27. Edition, Caterpillar tractor Co., Illinois, U.S.A.

Ceylanoğlu, A., Gül, Y., Akın, A., 2007. Kazılabilirlik ve Riperelebilirlik Sınıflama Sistemlerinin İncelenmesi ve Yeni Bir Sınıflama Sisteminin Önerilmesi. Madencilik, Cilt 46, Sayı 2, Sayfa 13-26.

Deere, D., U., 1968. Geological considerations, Rock mechanics in engineering practice, Wiley, New York, pp. 1-20.

Fish, B., G., 1961. The basic variables in rotary drilling, Mine and quarry engineering, Vol.27, No: 1, pp. 29-34 and No: 2, pp. 74-81.

Franklin, J., A., Broch, E., and Walton, G., 1970. Logging the mechanical character of rock, Transactions Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 70.

Göktan, R., M., İphar, M., 2013. Açık İşletmelerde Kayaç Sökülebilirlik Tayin Yöntemleri. Yer Altı Kaynakları Dergisi, Yıl:2 Sayı: 3. Sayfa 1-16.

Karaman, K., Ercikdi, B., Kesimal, A., 2013. The assessment of slope stability and rock excavatability in a limestone quarry. Earth Sci. Res. SJ. Vol. 17, No. 2 (December, 2013): 169 – 181.

Kentli, B., Topal, T., 2004. Evaluation of Rock Excavatability and slope stability along a segment of motorway, Pozanti, Turkey. Environmental Geology (2004) 46:83–95.

Kirsten, H., A., D., 1982. A classification system for excavation in natural materials, Die siviele ingenieur in Suid-Afrika, pp. 293-308.

Lutz, J., 1981. Automatic recorder of drilling parameters: General presentation, Jean-Lutz S.A., Les Boeyme, Chemin Vignats, 64110 Jurancon, France.

Müftüoğlu, Y., V., ve Scoble, M., J., 1985. Kömür açık işletmeciliğinde kazılabilirliği belirleme yöntemleri, 9. Madencilik kongresi, sayfa 29-37.

Müftüoğlu, Y., V., 1986. Assessment of diggability in surface coalmines, Second surface mining and quarrying symposium, Bristol, pp. 225-233.

MTA, 1993. Adana / Tufanbeyli ÖİR-2767 ve ÖİR-4289 Ruhsat Nolu Linyit Sahası Ön Değerlendirme Raporu, Ankara

Özkan, İ., Erdem, B., Ceylanoğlu, A., 2015. Characterization of jointed rock masses for geotechnical classifications utilized in mine shaft stability analyses. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 73 (2015) 28–41.

Scoble, M., J., Hadjigeorgiou, J., and Nenonen, L., 1987. Development of an excavating equipment selection expert system based on geotechnical considerations, Proceedings of 40. Canadian geotechnical conference, pp. 67-78.

Telford, W., M., 1976. Applied geophysics, Cambridge University press.

Ünal, E, ve Tutçu, L., 1986. Kaya mekaniği ilkeleri, ODTÜ Maden Müh. Bölümü.

Weaver, J., M., 1975. Geological factors significant in the assessment of rippability, Die siviele ingenieur in Suid-Afrika, pp. 313-316.

Yaşar, S., Yılmaz, A., O., Çapık, M., 2014. Kayaçların kırılma özellikleri ile kazılabilirlik parametreleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi. KAYAMEK'2014-XI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu.

# Destek Vektör Makineleri ile Jeolojik Zonların Kesit Yorumu

## *Interpretation of Geologic Domain Sections by Support Vector Machines*

G. Ertunç, F. Atalay

*Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara*

**ÖZET** Maden kaynak kestiriminde, sondajlardan veya sahadan gelen verilerin doğrulama aşamasından sonraki aşama jeolojik katı model oluşturma aşamasıdır. Katı modelin jeolojik olarak uygun ve gerçeğe mümkün olduğu kadar yakın olması çok önemlidir. Bunun başlıca nedeni kestirimi yapılacak blokların bu katı modele doğrudan bağlı olmasıdır. Katı model oluşturma işlemi, günümüzde madencilik paket programlarının da yaygınlaşmasıyla, elektronik ortamda kesit alma yöntemi ile yapılmaktadır. Ancak cevherleşme şekli karmaşık olan (örneğin epitermal) yataklarda jeolojik yorumlama ve bu durumu kesitlere aktarma zorlaşmaktadır.

Çalışmada jeolojik kesitlerin yorumlanmasını kolaylaştıran bir yöntem önerilmektedir. Makina öğrenme yöntemlerinden yaygın olarak kullanılan Destek Vektör Makinaları (DVM), kesit hattı üzerindeki sondaj verilerinin kullanıcı tanımlı sınır tenör değerlerinin sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Kesit hattında ızgara yapısında kestirimi yapılan noktalar jeolojik olarak tutarlı sonuçlar üretmiştir. DVM aracılığı ile sınıflandırılmış sonuçlar jeolojik yapının ortaya konmasında ve katı modeli oluşturulmasında şablon olarak kullanılabilir. Ayrıca bu yöntem ile, maden kaynağının rezerve dönüşmesinde önemli rol oynayan kavramların başında gelen sınır tenör kavramı, değişken sınır tenör değerleri söz konusu olduğunda katı model oluşturma aşamasında daha hızlı ve kolaylıkla hesaba katılabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Makine Öğrenme, Destek Vektör Makineleri, Katı model, Sınır tenör.

**ABSTRACT** Solid modelling phase starts with data verification obtained from the field. Geological consistency and accuracy of the orebody model are key aspects in mining operations. The consistency is vital while block model used in the resource estimation is only based on the solid model. With increasing availability of mining softwares, solid models are built by section digitizing. In complex geological structures, such as epithermal orebodies, it becomes challenging.

In this study, tool for geological interpretation based on machine learning is presented. Support Vector Machines (SVM) is used in classification of grid-wise locations in geological section. Input locations are drillhole data and categorized in three classes as follows: below cut-off, above cut-off, and high grade. Geologically consistent results obtained from SVM and these results offer template for digitising and finalizing the section. Cut-off grade is one of the most important modifying parameters in resource to reserve transition. Flexible and easy handling of various cut-off grades can be taken into consideration by the proposed method, which is very time efficient when compared to the contemporary solutions.

**Keywords:** Machine Learning, Support Vector Machines, Solid model, Cut-off grade.



## 1 GİRİŞ

Madencilik, bilim ve teknolojinin akılcı bir şekilde kullanılmasıyla ülkelerin kalkınmasında önemli bir rol oynadığı yadsınamaz bir gerçektir. Madencilik katma değere etkisinin yüksek olduğu ülkeler incelendiğinde neredeyse tamamında madencilik faaliyetlerinin bir kaynak – rezerv kodlama kural çerçevesinde yapıldığı görülmektedir. Bu kodlara CRIRSCO (*Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards*) Maden Rezervlerinin Uluslararası Raporlama Standardları Komitesi şemsiyesi altında toplanan başlıca kaynak rezerv kodlamaları, JORC (2012), NI43-101/CIM (2011), PERC (2013), SAMREC (2016), örnek gösterilebilir. Ülkemizde de Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Komisyonu UMREK tarafından şekillendirilecek kodlama, madencilik açısından olumlu bir olarak değerlendirilebilir.

Rapor kodlarının temeli maden varlığının belirli bir güven seviyesine göre sınıflandırılmasıdır. Güven seviyesi, her ne kadar blok model merkez noktasındaki jeostatistiksel kestirimler veya gerçeklemeler temel alınarak tanımlansa da, dolaylı olarak cevher kütesinin gerçeğe ne kadar yakın bir şekilde modellendiği ile tanımlıdır. Örneğin, cevher varlığının olmadığı bir lokasyondan geçirilen jeolojik kesit orada bir blok model prizması oluşmasına neden olacak, başka bir deyişle gerçekte var olmayan bir maden varlığı ortaya konacaktır. Bu hata çeşitli kesitlerde sistematik olarak devam ettiğinde ciddi bir hacim söz konusu olacaktır.

Günümüzde madencilik yazılımlarının gelişimi ile paftalar üzerinde alınan kesitler sayısal olarak bilgisayar ortamına taşınmıştır ve kullanıcıya anında 3 boyutlu görsellik sunmaktadır. Elle çizilen her kesit aslında bir iç kestirimdir (*interpolation*). Kullanıcı, alınan kesit üzerine düşen sondajların etki mesafesini de göz önüne alarak elle poligon oluşturur ve bir dizi poligon daha sonra cevher kütesinin hacmini oluşturur. Bu kesit oluşturma yönteminde yapılan her hata

sistematik olarak maden kaynak kestirimi sonuna kadar uzanan her aşamaya taşınmaktadır. Her kullanıcının jeolojik yorumlaması birbirinden farklı olacağı için kesit alma işleminde yapılan hatanın ne kadar olduğunun bir ölçütü bulunmamaktadır.

Cevher kütleleri yer kabuğundaki çeşitli jeolojik ve atmosferik kuralların ve uygun koşulların bir arada olmasıyla oluşmaktadır. Doğal olarak cevher kütleleri sistematik şekilde diğer kayalardan farklılaşmıştır ve belirli bir örüntü ile buldukları yerdedir.

Çalışmada bu örüntüyü ortaya koymada makina öğrenme yöntemleri arasında önemli bir yere sahip Destek Vektör Makinaları (DVM) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem aracılığı ile mevcut verinin analizi ile ortaya çıkan veri örüntülerini sınıflanmaktadır. Bu sayede, belirli bir sınır tenörün altında kalan ve maden planlamasında kullanılmayacak bölgeler, kesit alma işlemi sırasında dikkate alınmaktadır. Kesit hatları üzerindeki sondajları sınır tenörlerine göre sınıflayan bir algoritma MATLAB programı kullanılarak yazılmıştır. Ayrıca, mevcut verilerden öğrenme ve test verileri oluşturularak yapılan çapraz doğrulama sayesinde sınıflandırmanın doğruluk derecesi (*generalized accuracy*) ortaya konmaktadır.

## 2 YÖNTEM

Destek Vektör Makinaları (DVM) yönteminde kestirimi yapılan noktaların istenen hassasiyet düzeyinde haritalanması, jeostatistiksel kestirim yöntemleri gibi veri parametrisasyonu ile mümkün olmaktadır.

Destek Vektör Makinaları (DVM) makina öğrenme yöntemleri arasında eğitimci (*supervised*) öğrenme yöntemi olarak bilinir. Yöntemin amacı, iki veri alt kümesini birbirinden ayıran en uygun ayırım sınırını belirlemektir. Bu ayırım  $n$  boyutlu bir öklid uzayında  $n-1$  boyutlu bir alt-uzay yaratan (sonsuz uzanan) bir noktalar kümesinde, başka bir deyişle, hiper düzlemde gerçekleşmektedir. Bu ikili (binary) sınıflandırma durumları kuadratik en iyileme problemleri (Quadratic Optimization Problem) ile çözülmektedir ve problemin

çözümünde kullanılacak verinin dağılımına bağlı değildir. DVM’de ayırım doğrusal ve doğrusal olmayan durumlar için iki ana başlıkta özetlenebilir. Doğrusal ayırım sözkonusu olduğunda, ayırım doğrusu

$$f(x) = w^T x + b$$

ile ifade edilir. burada w hiper düzleme dik vektörü, x girdi vektörü, b ise ayırım sınırındaki hata payını belirten sabittir. Ayırım hiper düzlemi  $f(x) = 0$  ile ifade edilirken, düzleme en yakın noktalar için  $f(x) = \mp 1$  olmaktadır.

Bant genişliği m, ayırım sınırına en yakın pozitif ve negatif örnekler ile tanımlı hale gelmektedir. DVM’nin amacı, iki alt küme arasında en büyük ayırım bant genişliğini bulmaktır. En büyük bant genişliği, aşağıdaki ifadenin en küçüklenmesi ile mümkün olmaktadır.

$$\min_{w,b} m = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N y_i y_j (x_i \cdot x_j) \alpha_i \alpha_j - \sum_{i=1}^N \alpha_i$$

$$\alpha_i \geq 0, \forall i$$

$$\sum_{i=1}^N y_i \alpha_i = 0$$

Burada  $x_i$  öğrenme verisi,  $y_i$  öğrenme verisine göre +1 değerine dönüştürücü değişken,  $\alpha_i$  kuadratik problemin objektif fonksiyonuna bağlı Lagranj çarpanıdır.

Cortes & Vapnik (1995) örneklerin yanlış sınıflandırılma düzeyini kontrol eden bir değişken tanımlamışlardır. Bu parametre C ile ifade edilmiş ve kuadratik probleme  $0 \leq \alpha_i \leq C$  ek kısıtını getirmiştir.

Bir doğru ile ayrılamayan her durum DVM’lerinin doğrusal olmayan uyarlamasıyla ayrılabilir hale getirilmektedir ve pratikte çoğu durum doğrusal olmayan şekilde ayrılır. Doğrusal olmayan ayırım aşağıdaki şekilde genelleştirilmiştir.

$$f(x) = \sum_{j=i}^N y_i \alpha_j K(x_j, x) + b$$

Burada  $K(x_j, x)$  x girdi vektörü ile öğrenme vektörü  $x_j$  arasındaki çekirdek fonksiyon (*kernel function*) ifade etmektedir.

Tıpkı doğrusal durum gibi doğrusal olmayan durum da kuadratik biçimde çözülmektedir:

$$\min_{\alpha} m = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N y_i y_j K(x_j, x_i) \alpha_i \alpha_j - \sum_{i=1}^N \alpha_i$$

$$0 \leq \alpha_i \leq C$$

$$\sum_{i=1}^N y_i \alpha_i = 0.$$

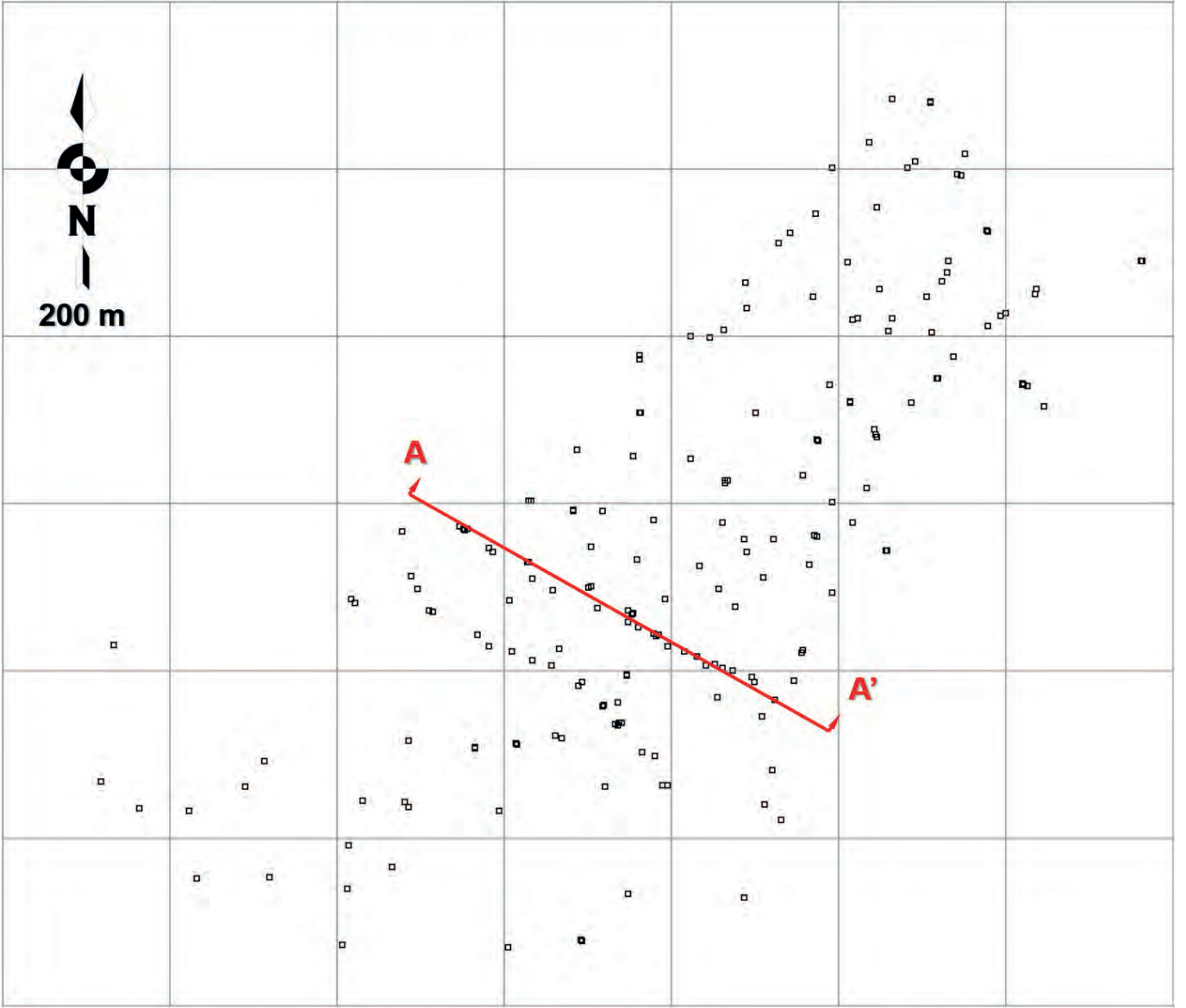
DVM’nin doğrusal olmayan ayırım durumlarında kullandığı birçok farklı çekirdek fonksiyonları bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları Gauss, polinom ve sinir ağları olarak sıralanabilir.

Kuadratik problem programları çoğu zaman karmaşık denklemler ve uzun çözüm süreleri ile sonuçlanan işlemlerdir. Bu durum kuadratik problemleri aşamalı olarak çözen ardışık bir en küçüklenme yöntemi olan Sequential Minimal Optimization (SMO) yöntemi ile giderilebilir (Platt, 1999).

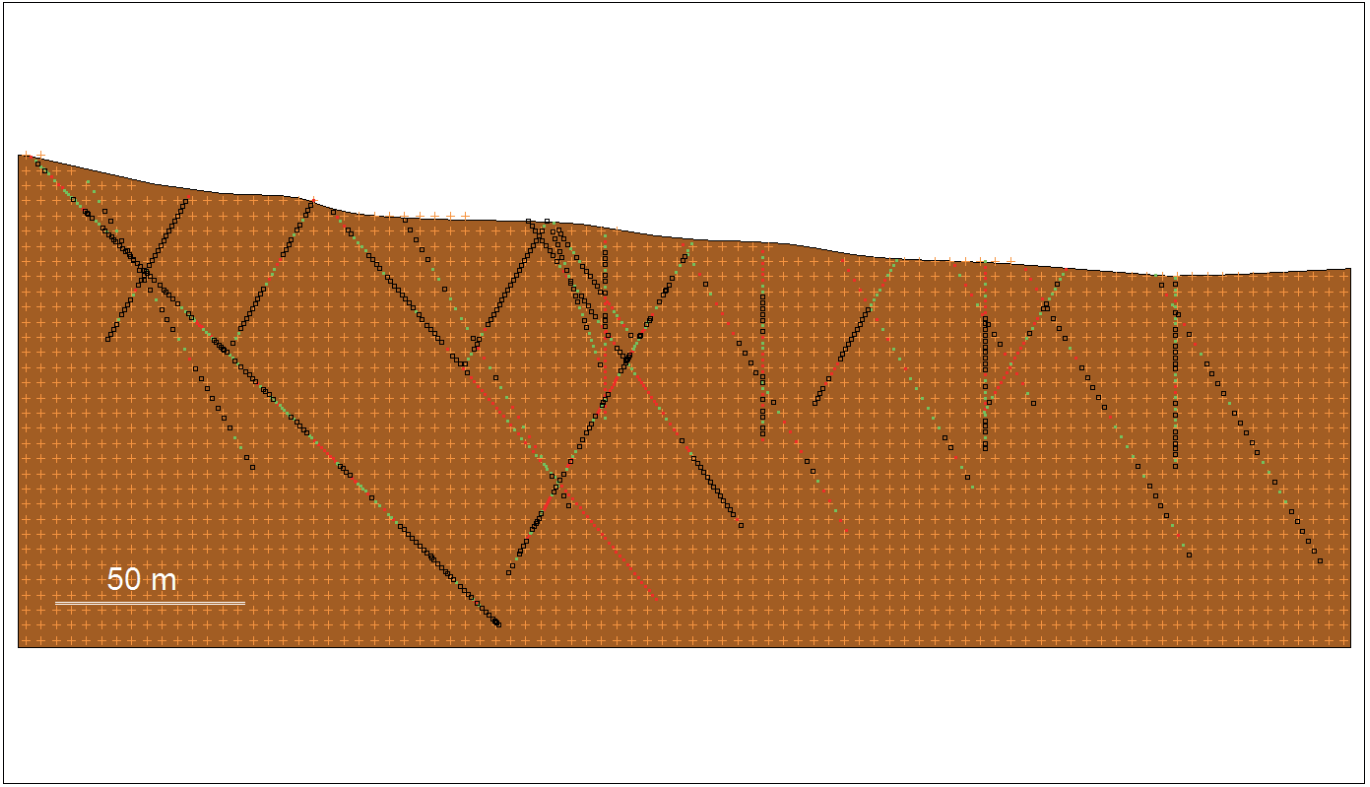
İkili sınıflandırma yöntemi, çoklu sınıflandırmaya bazı değişikliklerle adapte edilmektedir. Literatürde çoklu sınıflandırma için başlıca iki yöntem önerilmiştir. Bunlar, bire karşı hepsi (One-vs-all (OVA)) (Rifkin and Klautau 2004) ile bire karşı bir (One-vs-one (OVO))dir. Bire karşı hepsi yönteminde, isminden anlaşılacağı gibi ayrımı yapılan sınıfın karşısında geride kalan tüm sınıflar diğer sınıfı oluşturarak ikili ayırım durumu yaratırlar (Bishop 2006). Bu yöntem, bire karşı bir yöntemine göre, çözüm süresi ve denklem karmaşıklığı göz önüne alındığında, daha çok tercih edilmektedir.

### 3 DURUM ÇALIŞMASI

Çalışmada kullanılan kesit hattı (A-A'), tüm sahada en çok sondajın olduğu hattır (Şekil 1). Bu kesit hattı üzerinde 22 sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu sondaj kuyularından elde edilen Au (ppm) örnekleri DVM algoritması için girdi parametresi olarak kullanılmıştır.



Şekil 1. Sondajlar ve kesit hattı



Şekil 2. AA' Kesitindeki sondaj verileri ve kestirim noktaları (Siyah: sınır tenör altı, Kırmızı: sınır tenör üstü, Yeşil: yüksek tenör, Turuncu: kestirim noktaları)

Kesit hattında bulunan 955 örnek, tenör değerlerine göre üç kategorik değişken oluşturacak şekilde kategorize edilmiştir. Şekil 2'de görülen kesit hattında siyah renklendirilmiş örnekler kullanıcı tanımlı sınır tenör değerinin altında kalan örnekleri, kırmızı renkli örnekler sınır tenör üstü ve yeşil renkli örnekler ise sınır tenörün üstündeki yüksek tenörlü örnekleri ifade etmektedir. Kesit hattının tamamını kapsayacak şekilde ızgara yapısında 2420 noktada üç kategoriye göre kestirim yapılmıştır.

### 3.1 Destek Vektör Makineleri

Bu çalışmada,  $K(x_i, x_j) \equiv e^{-\gamma \|x_i - x_j\|^2}$  ile tanımlanan Gauss çekirdek fonksiyonu kullanılmıştır. Öğrenme ve test aşamaları için 10lu çapraz doğrulama uygulanmıştır.

MATLAB programı kullanılarak oluşturulan DVM algoritmasında Gauss çekirdek fonksiyonu parametre çifti  $(C, \gamma)$  genelleştirilmiş accuracy için otomatik olarak seçim yapmaktadır. Öğrenme ve test verisine göre en yüksek doğruluk değerini sağlayan parametre çifti kestirim parametresi olarak kullanılmıştır. Eşit doğruluk değeri veren birden fazla parametre çiftlerinde daha

hızlı çözüm süresi elde eden çift seçilmektedir.

$C$  ve  $\gamma$  değerleri aşağıdaki kümelerdeki değer aralıklarından seçilmiştir.

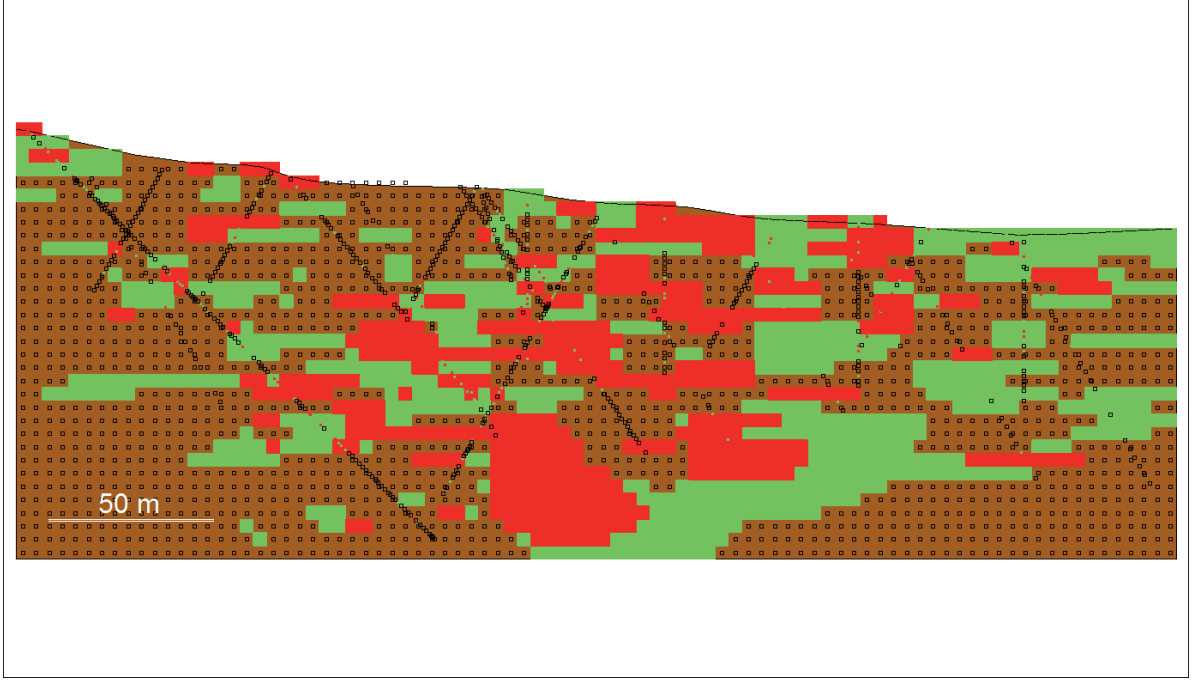
$$C = \{2^{-12}, 2^{-11.75}, 2^{-11.50}, 2^{-11.25}, 2^{-11}, 2^{-10.75}, 2^{-10.50}, 2^{-10.25}, 2^{-10}, 2^{-9.75}, 2^{-9.50}, 2^{-9.25}, 2^{-9}, 2^{-8.75}, 2^{-8.50}, 2^{-8.25}, 2^{-8}\}$$

$$\gamma = \{2^{-3}, 2^{-2}, 2^{-1}, 2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5\}$$

Olası her bir çift tek tek denendiği için ızgara temelli Grid-wise çözüm yapılmıştır. Çalışmada test çapraz doğrulama sonucunda en yüksek doğruluk oranı %77 olarak belirlenmiştir.  $[C, \gamma] = [2^{-9.50}, 2^5]$ .

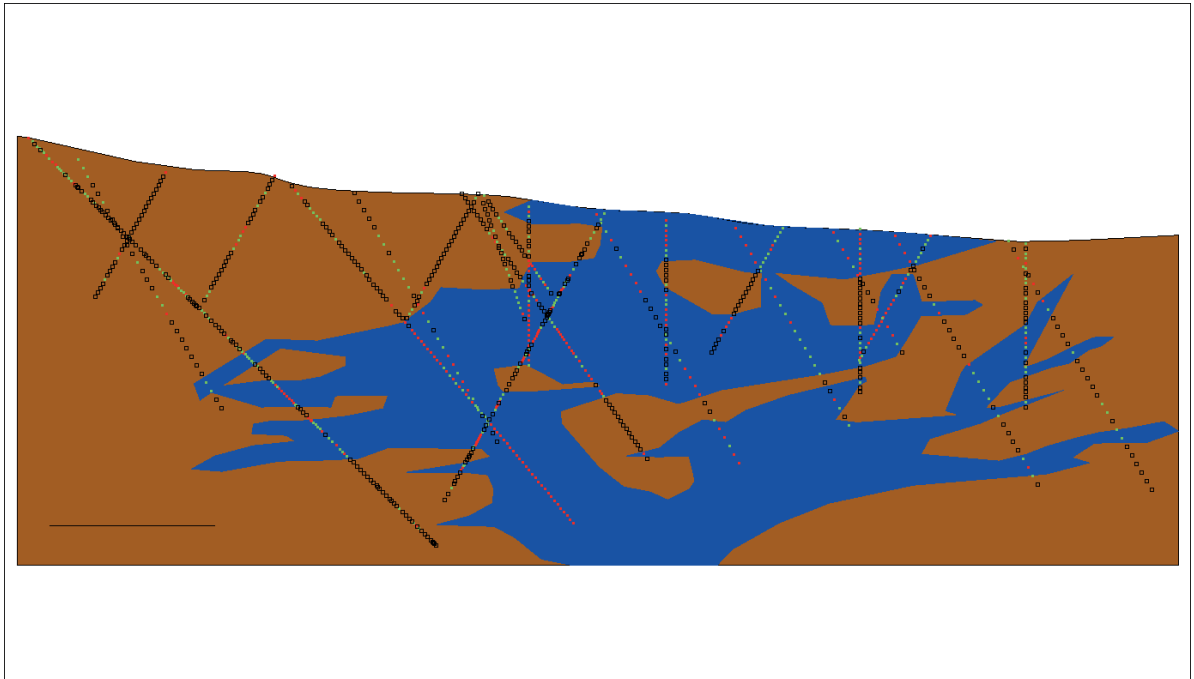
### 3.2 DVM Sonuçları

DVM algoritmasının çıktısı olan sınır tenör değerlerine göre kategorize olan bloklar Şekil 3'te verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, katı model oluşturulurken dikkate alınması gereken kestirim sonuçlarının, sondaj verileri ile büyük uyum içerisinde, jeolojik oluşum yapısını da doğrular nitelikte kategorize olduğu görülmektedir.



Şekil 3. DVM sonuçları

DVM kullanılarak kestirilmiş bloklar, jeolojik kesit için yön gösterici niteliktedir ve bundan sonraki aşamada, cevher sınırlarının nihai olarak belirlenmesinde şablon olarak kullanılmıştır. Bu şablon, madencilik yazılımına aktarılarak bu ortamda elle çizilerek kesit sayısallaştırılmıştır. Ortaya çıkan nihai sonuç Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Sayısallaştırılmış jeolojik katı model kesiti.

## 4 SONUÇLAR

Bu çalışmada kesit oluştururken karar verme aşamasında kullanıcıya yön gösteren bir yöntem önerilmiştir.

Maden kaynağının maden rezervine dönüşmesinde önemli rol oynayan kavramların başında sınır tenör kavramı gelmektedir. Maden planlaması, sınır tenör altındaki maden varlıkları için yapıldığında yanlış değerlendirmelerin ortaya çıkması söz konusu olabilir. Farklı sınır tenör değerleri söz konusu olduğunda daha hızlı kesit oluşturmayı mümkün kılan algoritma, özellikle modellenmesi zor olan cevher yatakları için büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Ancak bu yöntem karar verme aşamalarında sadece yön gösterici nitelikte kullanılmalıdır.

Çalışmada sunulan Destek Vektör Makina algoritmasının çapraz doğrulama sonucunda ortaya koyduğu doğruluk derecesi (*generalized accuracy*) de katı modelin doğruluğu açısından önemli bir ölçüt olarak sayılabilir.

## KAYNAKLAR

- Bishop, C.M., 2006. *Pattern Recognition and Machine Learning, Information Science and Statistics*, Springer-Verlag New York, Inc.
- Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. 2011. National Instrument 43-101 - Standards of Disclosure for Mineral Projects. Westmount, Quebec, Canada: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum.
- Cortes, C., Vapnik, V., 1995. Support-Vector Networks, *Machine Learning*, 20: 273-97.
- JORC, 2012. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code) [online]. Available from: <<http://www.jorc.org>> (The Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia).
- Platt, J.C., 1999, Fast training of support vector machines using sequential minimal optimization. *Advances in kernel methods (MIT Press)*.
- PERC, 2013, Pan-European Reserves & Resources Reporting Committee  
[http://www.vmine.net/PERC/documents/PERC\\_REPORTING\\_STANDARD\\_2013\\_rev2.pdf](http://www.vmine.net/PERC/documents/PERC_REPORTING_STANDARD_2013_rev2.pdf)

Rifkin, R., Klautau, A., 2004, In Defense of One-Vs-All Classification, *J. Mach. Learn. Res.*, 5: 101-41.

SAMREC, 2016, The South African Code for the Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves, [www.samcode.co.za](http://www.samcode.co.za)

# Cerchar Aşınma İndeksi'ne Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi

## *An Investigation of Factors Affecting Cerchar Abrasivity Index*

H. Duru, H. Aydın, O. Yaralı, U. Sakız

*Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

**ÖZET** Cerchar aşınma indeksi (CAI) kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemi olup, çeşitli madencilik ve tünelcilik kazı projelerinde keski ömrünün/tüketiminin ve aşınma oranının belirlenmesinde tercih edilen bir indeks deney yöntemidir. Çeşitli araştırmacılarca aynı kayaç üzerinde farklı laboratuvarlarda yapılan çalışmalar CAI değerlerinde sapmalar olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada, CAI'ya etki eden parametrelerden deney aletinin, kullanılan uçların sertliğinin ve uç üzerindeki aşınma değerinin ölçülmesi yönteminin sonuca olan etkileri araştırılmıştır.

Yapılan bu çalışmada, düşey okuma değerlerinin yatay okuma değerlerine göre yaklaşık %1 fazla olduğu, deneyde kullanılan klasik alet tipinden elde edilen CAI değerinin West tipi aletten elde edilen değerden %1 fazla olduğu gözlemlenmiştir. Her iki durum içinde okuma konumuna ve kullanılan alet tipine bağlı oluşan bu farklılıkların ihmal edilebilir nitelikte olduğu söylenebilir. Bu çalışmada CAI değerine en çok etki eden parametrenin uç sertliklerinde meydana gelen değişim olduğu gözlemlenmiştir. Uç sertlikleri arttıkça ölçülen CAI değerleri düşüş göstermiştir.

**ABSTRACT** Cerchar abrasivity index test (CAI) is widely used for determining the abrasiveness of rocks and this test provides an index value that can be used as a gauge for the abrasiveness of rocks in order to estimate bit life and wear in various mining and tunneling applications. The studies performed by some researchers in different laboratories on same rocks have shown some deviations in CAI values.

In the context of this study, the effects of the test instrument, the hardness of the tips used, and the measurement position of the wear surface on the tip were investigated in terms of the parameters affecting the CAI.

In this study, it was observed that the side-view measurement values are about 1% higher than the top-view measurement values and the CAI value obtained from the classical instrument type was 1% higher than the value obtained from the West type instrument. These differences can be neglected. In this study, it was observed that the parameters that have the most effect on the CAI value are the changes in the stylus hardness. As the tip stiffness increases, the measured CAI values decreases.

## 1 GİRİŞ VE AMAÇ

Kayaçların aşındırıcılığı, kaya malzemesinin kazı amacıyla karakterizasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Aşınma; bir yüzeyden parça kopması veya yüzeyin yıpranması olarak tarif edilmektedir. Bu özellikle, madencilikte, sondajda ve tünel kazılarında kullanılan keskinin yüzeylerinde malzeme kaybına veya yer değiştirmesine neden olan bir süreç olarak tanımlanmaktadır (ISRM, 2015).

Kayaçların aşındırıcılığı; delinebilirliği-kazılabilirliği etkilediğinden, madencilik ve tünelcilik gibi projelerde aşınmaya bağlı keski tüketimi proje performansı ve kazı maliyeti açısından büyük önem arz etmektedir. Keski ucu aşınmasının; kazı ilerleme hızını düşürürken keskiye uygulanan kuvvetlerin ve dolayısıyla enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır (Fowell ve Johnson 1991). Kayaçların aşındırıcılık ve delinebilirlik özellikleri laboratuvar ortamında basit indeks deneyleri ile belirlenebilmektedir. Bu deneyler sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek kayaca uygun mekanik kazı makinası tipi ve kullanılacak keski sayısı ve türü seçilebilmektedir. Bu amaçla geliştirilmiş tahmin modelleri kullanılmaktadır (Yaralı 2007).

Kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesine yönelik birçok yaklaşım geliştirilmiş olmasına rağmen bunlardan çok azı kabul görmüştür. Son yıllarda bu metotlardan birisi olan CAI deneyi kazı projelerinde keski aşınmalarının ve keski değişim maliyetlerinin tahmin edilmesinin ekonomik öneminden dolayı dikkate değer bir önem kazanmıştır. CAI deneyi özellikle Batı Avrupa'daki kaya mekaniği laboratuvarlarında sert kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesinde oldukça yaygın kullanılan bir deney yöntemidir (Yaralı et al. 2008)

CERCHAR Aşınma Deneyi, kayaç aşındırıcılığını belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu deney kömür madenciliği

uygulamaları için ilk olarak Fransa'da Cerchar Araştırma Enstitüsü (Research Institute Cerchar of the Charbonnages de France)'nde 1971 yılında geliştirilmiş ve kullanılmış, deney sonuçları da Valantin (1973) tarafından yayınlanmıştır. Bu deney yöntemi kayaçların aşındırıcılıklarının belirlenmesinde ve keski aşınması veya sarfiyatının tahmininde kullanılmaktadır. (ISRM, 2015)

Bu deney yöntemi basit ve hızlı olmasına rağmen aynı kayaç üzerinde farklı laboratuvarlarda yapılan CAI ölçümlerinde farklılıklar gösterdiğinden (Plinninger et al. 2003, Rostami et al. 2005, Ghasami 2010) zaman zaman bu metodun kullanılmasını sorgulanır hale getirmiştir.

Bu çalışmada, CAI deneyine etki eden parametrelerden deney aleti tipini, deneyde kullanılan uçların sertlikleri ve uçlarda aşınmanın ölçülme şeklinin ölçüm sonucuna olan etkileri araştırılmıştır.

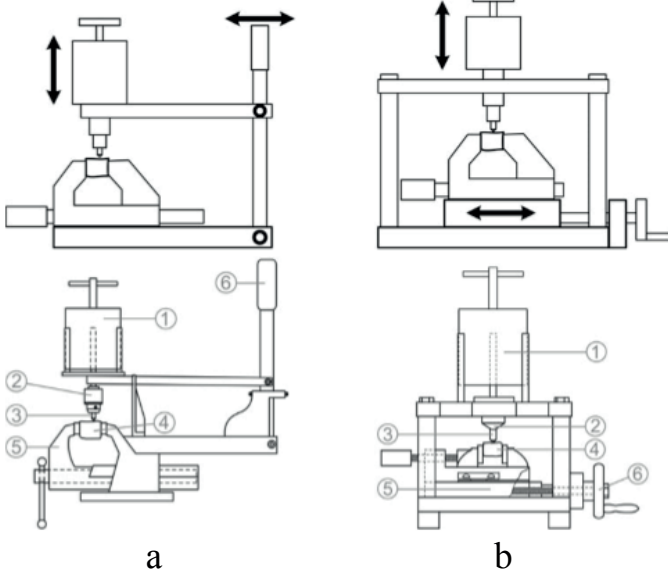
## 2 CERCHAR AŞINMA İNDEKS (CAI) DENEYİ

CAI deneyi için literatürde önerilmiş iki standart bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, 1986 yılında Cerchar Enstitüsü'nün önerdiği NF P94-430-1 nolu standart (AFNOR 2000), diğeri de ASTM D7625-10 (2010) tarafından önerilen standarttır. Ancak bu standartlar sadece biçimsel olarak hazırlandığı için birçok araştırmacı tarafından kabul görmemekte ve bu alandaki sıkıntı devam etmekteydi.

Bu deney yöntemiyle ilgili en son gelişme ISRM 2015'de yer almaktadır. ISRM (2015) CAI testinde ölçüm farklılıklarını en aza indirmek (standart hale getirmek) için bazı önerilerde bulunmuştur. Buna göre deneyde kullanılan uç 55 HRC sertliğine sahip kalem ucu şeklinde çelikten yapılmış olmalı ve çizme işinde kullanılacak olan alet literatürde bu amaçla geliştirilen çalışma mekanizması biraz farklılık içeren iki aletten (Klasik veya West)(Şekil 1) birisi olmalıdır. Kullanılacak örnek şekilsiz veya disk şeklinde olabilir. Bu



örnek deney aletine sıkıca tutturulduktan sonra çelik uç dikkatli bir şekilde kayaç örneği üzerine indirilmeli ve bu uç 70 Newton normal kuvvet altında örnek yüzeyinde 10 mm mesafe boyunca hareket ettirilmelidir. Çelik uçta oluşan aşınma yüzeyi 0,01 mm'lik bir hassasiyette bir mikroskop altında ölçülmelidir. CAI, boyutsuz bir birim değer olup ölçülen aşınma yüzeyi değerinin 10 ile çarpılması sonucu elde edilmektedir. Örneğin, çelik uçta oluşan aşınma yüzeyi 0,25 mm olarak ölçülürse, buna karşılık gelen CAI değeri 2,5 olarak belirtilmektedir (ISRM, 2015).

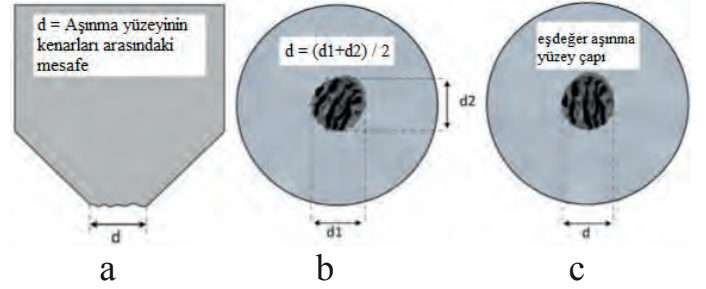


Şekil 1. Kullanılan temel iki deney aletinin mekanizma ve örnek görünüşleri. (a) Klasik deney aleti, orjinal Cerchar deney aleti, (b) West deney aleti, West (1989) tarafından modifiye edilen deney aleti (ISRM, 2015).

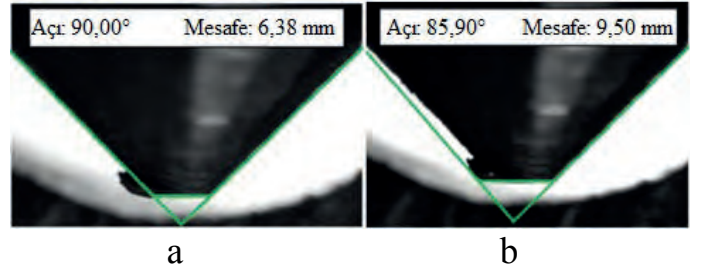
Aşınma yüzeyinin uzunluğu veya çapı (d), optik ve dijital yöntemlerle, minimum 25x büyültmeye sahip mikroskop kullanılarak ölçülmelidir. Uçlarda oluşan aşınma, Şekil 2'de gösterildiği gibi yatay veya düşey konumda ölçülebilir (ISRM, 2015).

Genellikle aşınma değerinin yatak konumdayken ölçülmesi önerilmektedir. Özellikle sert kayaç türlerinde taze kırılmış bir örnek üzerinde yapılan deney sonucunda elde edilen aşınma yüzeyi Şekil 3'te gösterildiği gibi simetrik olmayan bir şekil

gösterebilir. Bu da düşey ölçüm yöntemiyle aşınma yüzeyinin gerçek çapını belirlemeyi zorlaştırarak deney sonuçlarını etkileyebilir. Rostami vd (2005)'in belirttiği gibi aşınma yüzeyinin başlangıç ve bitiş noktalarının doğru bir şekilde belirlenmesi, farklı kişi ve laboratuvarlar arasında büyük farklılıklara neden olabilecek deney sonuçlarının doğruluğu için çok önemlidir.



Şekil 2 Yatay (a) ve düşey (b,c) yönde ölçüm. (a) ve (b) optik ölçümler için, (c) dijital ölçümler için önerilen yöntem (ISRM, 2015).



Şekil 3 Yatay ölçüm yöntemiyle aşınma yüzeyinin doğru ölçümü (a) ve düşey ölçüm yöntemiyle tahmini olarak kabul edilecek olan aşınma yüzeyi görünümü (ISRM, 2015).

Yatay ölçüm yöntemi kullanılırken aşınma değerini belirlemek için çelik ucu 90° lik açılarda çevirerek dört ölçüm yapılması önerilmektedir. Şekil 2b'de gösterildiği gibi düşey ölçüm yöntemi kullanılırken iki ölçüm yapılmalıdır. Dijital mikroskop ve bilgisayar ortamında ölçüm yapılması durumunda üstten bir ölçüm yapılması uygundur (Şekil 2c) (ISRM, 2015).

### 3 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada, 13 farklı kayaç örneği üzerinde iki farklı deney aleti ile (Şekil 1) CAI deneyleri yapılmıştır.

Deneyler ISRM (2015)'in önerileri dikkate alınarak yapılmıştır. Deneyde kullanılan kayaçlar ve alındıkları yerler Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1 İncelenen kayaçların isimleri ve alındığı yerler.

Kayaç Adı	Alındığı Yer
İnce taneli kumtaşı	Zonguldak
Orta taneli kumtaşı	Zonguldak
İri taneli kumtaşı	Zonguldak
Kireçtaşı	Adana
Kuvars Kumtaşı	Zonguldak Armutçuk Borcam eski ocak sahası
Granit	Bergama
Granit	Yenice
Andezit	Niğde
Diyabaz	Niğde
Andezit	Ereğli
Kuvarsit	Bartın
Mermer	Afyon
Mermer	Marmara

Deneylerde çekme dayanımı 2000 MPa olan 6 farklı sertlikte (HRC40-42, HRC44-46, HRC48-50, HRC50-52, HRC54-56, HRC58-60) uçlar kullanılmıştır (Şekil 5).

Deneyler her bir kayaç için üç farklı örnek üzerinde, her bir deney aletinde, farklı sertlikteki uçlarla ayrı ayrı yapılmıştır. CAI deneylerinde her bir örnekte her seferinde yeni bir uçla 5 çizim gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda her bir kayaç için (3 yüzey x 5 çizim x 6 farklı sertlik x 2 farklı deney aleti) 180 kez çizme işlemi yapılmış olup toplamda 13 kayaç için 2340 uç kullanılmıştır. Aşınmış uçlardaki aşınma miktarları her bir uç için yatay ve düşey konumda ayrı ayrı ölçülmüştür.



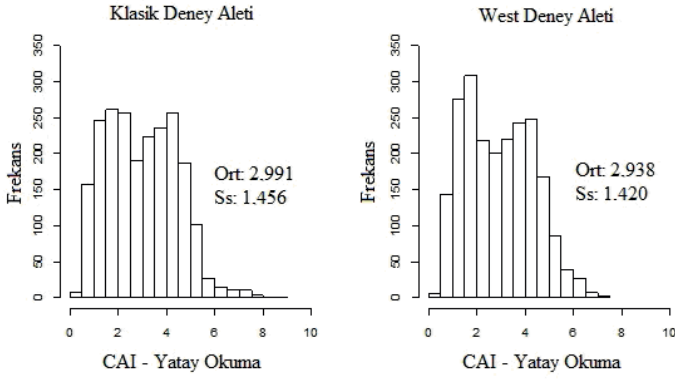
Şekil 5 CAI deneylerinde kullanılan farklı sertlikteki uçlar.

### 4 DENEYSEL VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

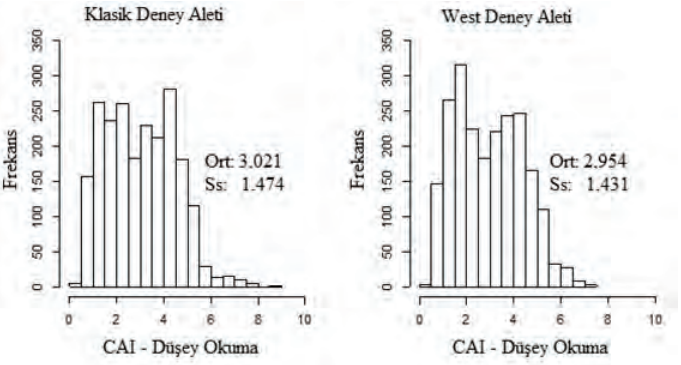
13 kayaç örneği üzerinde yapılan CAI deney sonuçları istatistiksel olarak irdelenmiş ve en düşük varyasyon katsayısı değerine sahip deney sonuçları dikkate alınmıştır. İstatistiksel değerlendirmede; iki farklı deney aletinin, 6 farklı sertlikteki ucun (HRC40-42, HRC44-46, HRC48-50, HRC50-52, HRC54-56, HRC58-60), iki farklı ölçme yönteminin (dikey ve yatay pozisyonda) Cerchar aşınma indeks deney sonuçlarına olan etkisi araştırılmıştır.

Kayaç örnekleri üzerinde iki farklı deney aletiyle (klasik ve West) yapılan Cerchar aşınma indeks deneyleri sonucu aşınmış uçlar hem yatay hem de düşey konumlarda mikroskop altında ölçülmüştür. Şekil 6 ve Şekil 7'ye bakıldığında her iki deney aletinde yapılan deney verilerinin ortalama CAI değerlerinin benzer dağılım özellikleri gösterdiği ve okuma yüzeyleri karşılaştırıldığında ise yine benzer dağılım özellikleri gösterdiği görülmektedir.

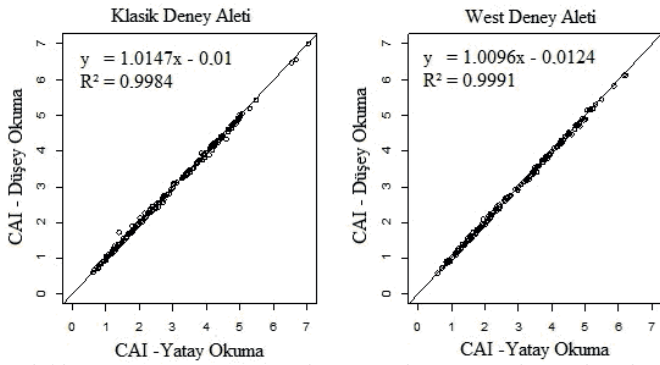
Her iki deney aletinde uç aşınma yüzeylerinden yatay ve düşey konumda ölçülen CAI değerleri arasındaki ilişki Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8'e göre her iki makinadan elde edilen yatay ve düşey konumda ölçülen CAI değerleri arasında yüksek korelasyonlu pozitif bir ilişkinin mevcut olduğu görülmektedir. Ancak, düşey konumda ölçülen CAI değerleri yatay konumdaki ölçüme göre yaklaşık %1 fazlalık göstermektedir.



Şekil 6 CAI deneş aleti tipine göre uç aşınma yüzeylerinin yatay konumda ölçülmesi durumunda CAI dağılımı.



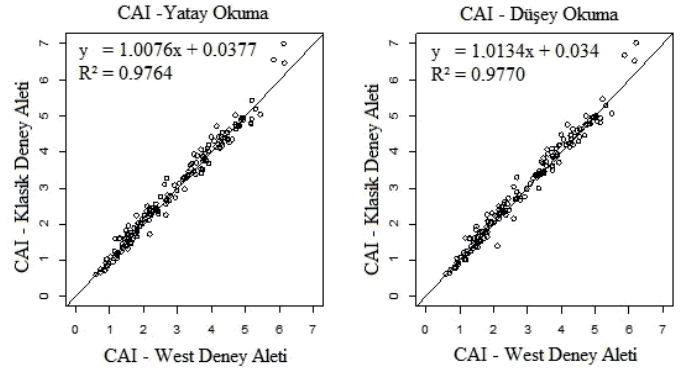
Şekil 7 CAI deneş aleti tipine göre uç aşınma yüzeylerinin düşey konumda ölçülmesi durumunda CAI dağılımı.



Şekil 8 Yatay ve düşey konumda ölçülen ortalama CAI değerleri arasındaki ilişki.

İki deneş aletinden elde edilen CAI değerleri kullanılarak deneş aletleri kıyaslandığında aralarında yüksek korelasyonlu pozitif ilişki gözlenmekte olup yatay ve düşey konumlu ölçümler için bu ilişkinin benzer şekilde devam ettiği

görülmektedir (Şekil 9). Bu çalışmaya göre klasik deneş aletinde yapılan ölçümler West deneş aletinde yapılan ölçümlerden yaklaşık %1 fazlalık göstermektedir.

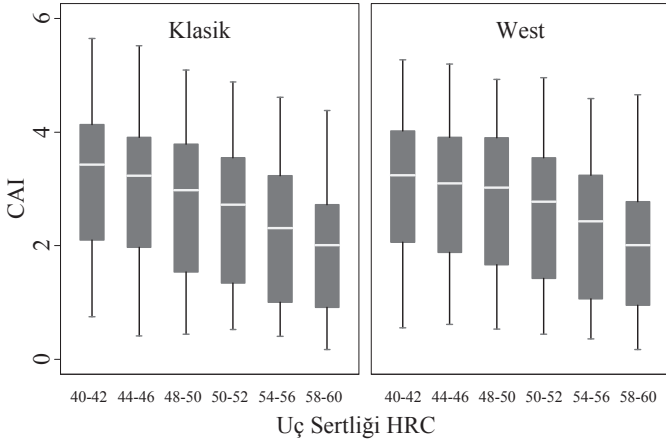


Şekil 9 West ve Klasik deneş aleti arasında CAI ölçümleri ortalamasının birbirleri ile olan ilişkisi.

Uç sertliklerine göre ortalama CAI değerlerinin değişimi aşağıda Çizelge 2 ve Şekil 10'da verilmiştir. Beklendiği gibi uç sertlikleri arttıkça ortalama CAI değerleri ve standart sapmaları (genel olarak) düşmektedir. Bu sonuçlar deneş esnasında kullanılan aletin tipine göre de fazla bir değişkenlik göstermemektedir. Şekil 8'e göre uç sertliğinin artmasına bağlı olarak ölçülen CAI değerlerinin değişim aralığı birbirine yakın olmakla birlikte genel olarak azalmakta olup ortalama en düşük değişim aralığı 54-56 ve 58-60 HRC sertlikteki uçlarda gözlemlenmiştir.

Çizelge 2 Deneş aleti ve uç sertliğine göre CAI (yatay ve düşey ölçüm ortalamaları) değerleri.

HRC	Klasik		West	
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma
40-42	3,22	1,17	3,14	1,14
44-46	3,00	1,14	2,95	1,16
48-50	2,80	1,19	2,84	1,20
50-52	2,55	1,18	2,59	1,16
54-56	2,23	1,14	2,27	1,11
58-60	1,95	1,08	1,95	1,05



Şekil 10 Deney aleti ve uç sertliğine göre CAI (yatay ve düşey ölçüm ortalamaları) değerlerinin değişimi

## 5 SONUÇLAR

İki deney aletiyle yapılan aşınma deneylerinde Klasik deney aletinin West deney aletine göre yaklaşık %1 daha fazla değer verdiği tespit edilmiş olup iki deney aleti arasındaki bu farkın ihmal edilebilir nitelikte olduğu söylenebilir. Bu sonuç, Plinninger et al. (2003) ve Ghasemi (2010) ile benzer durum göstermiştir.

Aşınmış uç yüzeyinin yatay ve düşey konumda yapılan ölçümleri karşılaştırıldığında düşey konum sonuçlarının yatay konum sonuçlarından %1 fazla olduğu görülmüştür. Bu fark ihmal edilebilir nitelikte olmakla birlikte deneydeki ölçüm hatalarını azaltmak açısından ölçümün her iki konumda yapılması ve çıkan sonuçların ortalamaları alınarak CAI değerinin belirlenmesinin daha istikrarlı sonuçlar vereceği beklenmektedir.

CAI deneyinde en çok tartışılan parametre uç sertliği olmaktadır. West (1989), West aparatında uçların sertliklerinin HRC 40-42 kullanılmasını önerirken, Cerchar (1986) klasik deney aletinde HRC 54-56 sertliğinde uçların kullanılmasını önermiştir. Birçok araştırmacı da HRC55 sertliğindeki uçların uygun olacağını ileri sürmüşlerdir (Plinninger et al. 2003, Rostami et al. 2005, Stanford and Hagan, 2009). Bu çalışmada 6 farklı sertlikte iki deney aletiyle

gerçekleştirilen çizme işlemi sonucu çelik uçta oluşan aşınma yüzeyleri yatay ve düşey konumda ölçülmüştür. CAI sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi sonucu uç sertliklerinin artmasıyla ölçülen CAI değerlerinin düştüğü, CAI değişim aralıklarının (max-min) birbirine yakın olduğu ancak en düşük değişim aralığının HRC 54-56 ve HRC 58-60 sertliğindeki uçlarda gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu bulgular da ISRM'nin (2015) CAI deneyinde HRC 55±1 sertliğinde uçlar kullanılması önerisini desteklemektedir.

## KAYNAKLAR

- Afnor, 2000. Determination du pouvoir abrasive d'une roche - Partie 1:Essai de Rayure Avec Une Pointe (NF P 94-430-1), Paris, 24 p.
- ASTM, 2010. "Standard Test Method for Laboratory Determination of Abrasiveness of Rock Using the CERCHAR Method", Designation: D7625-10.
- Ghasami, A, 2010. *Study of Cerchar Abrasivity Index and Modifications for More Consistent Measurement of Rock Abrasion*, Master of Science Thesis, Department of Energy and Mineral Engineering, The Pennsylvania State University, USA, 77p.
- Fowell, RJ., Johnson, ST. 1991. Cuttability assessment applied to drag tool tunnelling machines. Proc. 7th ISRM International Congress on Rock Mechanics, Vol. 2, Publ. Rotterdam, AA Balkema, Aachen, Germany, p. 985-990.
- ISRM, 2015. Suggested method for determining the abrasivity of rock by the Cerchar abrasivity test. The ISRM Suggested Method for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014, R. Ulusay [edt], Springer, USA, p.101-106.
- Plinninger, R, Kasling, H, Thuro K, Spaun, G, 2003. Testing conditions and geomechanical properties influencing the cerchar abrasiveness index (CAI) value. Technical Note. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 40:259-263
- Rostami, J, Özdemir, L, Bruland, A, Dahl, F, 2005. Review of issues related to cerchar abrasivity testing and their implications on geotechnical investigations and cutter cost estimates. *Rapid Excavation and Tunnelling Conference.*, Seattle, WA.USA. p. 15-14.

- Valantin, A, 1973. *An Examination of the Various Conventional Procedures to Determine the Resistance of Rock to Mechanized Winning*. Development and Exploratory Techniques in Coal Mines, Commission of the European Commercial Shearing Co. Youngstown, pp.15-84.
- Yaralı, O, 2007. Tünel açma makinalarının performans analizinde kullanılan delme oranı indeksinin (DRI) tahmini, 2. *Ulaşımında Yer altı Kazıları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul, s:169-179
- Yaralı, O, Yasar, E, Bacak, G, Ranjith, P, G, 2008. A study of rock abrasivity and tool wear in coal measures rocks. *Int. J. of Coal Geology*. 74(1): 53-59.

# Bir Tünel Projesinde TBM'de Kullanılan Disk Keskilerin Isılarının Ölçümü ve Değerlendirilmesi

## *Thermal Measurement and Evaluation of Disc Cutters Used for a TBM on A Tunnel Project*

Ü. Kalaycı, Ü. Özer

*İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

U. Gümüş, U. Altay

*Akad İnşaat San. Tic. Ve Ltd. Şti., İstanbul*

**ÖZET** TBM ile tünel kazısında, tünel açma makinesi ve formasyonda meydana gelen etkileri belirli bir ölçekte veya tüm sistemde araştırmak zor ve zaman alan bir seçenektir. TBM çalışmalarında başlıca giderlerden biri de yıpranmış veya aşınmış keskinlerin değiştirilmesidir. Keskin aşınmasında ihmal edilen önemli parametrelerden biri de ısı etkisidir. TBM çalışma parametreleri ve kaya mineralojik yapısı gibi parametreler ve fiziksel olaylardan kaynaklanan ısı keskinlerde deformasyonlara neden olmaktadır. Bu çalışmada bir atık su tüneli projesinde kazı yapan bir TBM'de, çalışma halinde keskinlerde, gövdede ve formasyonda ısı ölçümleri yapılmıştır. Alınan ısı ölçümleri, keskinlerin ve kazı yapılan kaya biriminin mekanik özellikleri bir sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş ve ısınan keskinlerin aşınması irdelenmiştir.

**ABSTRACT** Investigation the effects on the TBM and formation on tunnel excavation is difficult and time-consuming option on a particular scale or the entire system. One of the major expenses in TBM operations is replacing the worn chisel tools. One of the disregarded parameter on the cutter wear is the effect of the heat. The heat causes TBM operating parameters, mineralogical composition and physical phenomena are causes abrasion on chisel tools. In this study, temperature measurements were collected on the body, cutters and formation on a TBM on a wastewater tunnel project while it was operating. Taken temperature measurement, mechanical properties of excavated rocks and cutters evaluated by using a finite element software and the cutter wear of heated cutters was discussed.

## 1 GİRİŞ

Kaya ve zeminde yapılan mekanize tünel kazılarında temel giderlerden biri de hasarlı ve yıpranmış kesicilerin değiştirilmesidir. Ek olarak disk kesicinin değiştirilmesi TBM performansını olumsuz etkileyecek şekilde zaman alıcıdır. Projenin gerçek maliyetini ve TBM performansını hesaplayabilmek için disk kesici ringinin ömrünü uygun metotlarla belirlemek gerekir (Önce, 1991; Bilgin, 1989-1994; Ozdemir, 1995).

Keskin aşınması, kazı esnasında keskin ile kaya arasında meydana gelen sürtünmenin sonucudur. Aşınmış keskinlerin değişmesi

kazı ilerlemesinde dolayısıyla Tbm performansında önemli bir yer arz eder. TBM performansında %5-15 arası etki derecesine sahiptir (Önce, 1991; Bilgin, 1994; Ozdemir, 1995; Tumaç, 2010). Singh (1989), konu ile ilgili yaptığı çalışmada kayaçların kazılabilirliği ile aşınma indeksleri arasında ilişki kurarak "kesilebilirlik" (machinability) indeksleri elde etmiştir. Ayrıca, farklı yöntemlerle elde edilen aşınma indeksleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir.

Arı (1992)'ya göre keskin aşınması, birçok parametrenin fonksiyonudur, örneğin,

kayacın kuvars içeriği burada önemli bir parametre olmakla beraber, tek başına bir ölçüt olarak yeterli gelmemektedir. Bu yüzden keski tüketimi tahmininde, genelde aşınma deneyi sonucu elde edilen değerler ya da indeksler temel ölçüt olarak alınmaktadır.

Hassanpour vd. (2014), İranda yapılan mekanize kazı projelerinden topladığı verilerle keski ömrü ve keski tüketimi ile ilgili bazı ampirik eşitlikler elde etmişlerdir. Günümüzde keski ömrünü belirleyebilmek için birkaç tahmin modeli mevcuttur. Bunların arasından geliştirilmiş iki model, NTNU ve CSM en önemlileridir. Bu modeller keski değişiminin toplam maliyetini hesaplasalar bile gerçek TBM projelerine uygulanmalarında bazı eksiklikleri vardır. Bu yöntemlerin temel sınırlamaları CLI (keski ömrü indeksi) ve CAI (Cerchar aşınma indeksi) gibi temel parametrelerin proje başlangıç safhalarında elde edilememeleridir.

NTNU modelinde, aşınma değeri (AVS), NTNU aşınma testinden elde edilir ve CLI (cutter life index) değerine dönüştürülerek bir TBM aşınma parametresi haline gelir (Eş. 1). (Rostami, 1997; Bruland, 1988; Rostami vd., 2014).

$$CLI \cong 14 (SJ/AVS)^{0.4} \quad (1)$$

Burada, SJ; Delme testinden elde edilen Siever J değeridir.

Aşınma modellerinde kullanılan temel parametreler Çizelge 1'de sunulmaktadır (Hassanpour et al., 2014).

Çizelge 1: Keski Ömrü Hesaplamada Kullanılan Parametreler

Kaya Parametreleri	Makine Parametreleri
Keski Ömrü İndeksi	TBM çapı
Aşındırıcı Mineral İçeriği	Keski kafa dönme hızı
	Keski sayısı
	Keski çapı
	Ortalama itme kuvveti

Pek çok araştırmacı kaya ile kazı aletlerinin etkileşimine yönelik çeşitli numerik yöntemler kullanmışlardır (Haeri vd, 2013; Ho-Young vd, 2015, Haeri vd, 2014).

Tünellerde kesici - kaya arasındaki ilişkinin sayısallaştırılması konusu da ilgili araştırmacıların güncel konusu olmaya devam etmektedir. Keski ısılarının araştırılması ve ölçülmesi ile ilgili çalışmalar ise oldukça kısıtlıdır. Literatürde bu konu ile ilgili, keski ısılarının değişimini matematik yöntemlerle araştıran (Song vd., 2015) ve doğrudan tek keski üzerindeki sıcaklığı ölçen (Zhang vd., 2001) araştırmacılar vardır.

Kazı çalışmaları esnasında meydana gelen ısıları belirleyebilmek için matematik-analitik metot, doğrudan ölçüm metodu, sayısal analiz metodu kullanılabilir. Bu çalışmada doğrudan ölçüm yöntemi ve nümerik modelle doğrulama kullanılmıştır.

## 2 SÜRTÜNME İLE AŞINMA ARASINDAKİ İLİŞKİ

Sürtünme kuvvetinin normal kuvvetle oranı 1699 yılında Guillaume Amontons tarafından ortaya konmuş; Euler, 1750 yılında Sürtünmenin analitik tanımlamasını yapmıştır.

George Rennie, 1825; Sürtünme ve aşınma ölçümlerinin yapılması ve farklı malzemeler için sürtünme katsayısı listesini ortaya koymuş ve 1966 yılında triboloji kavramı ortaya çıkmıştır (Alsaran, 2010).

### Aşınma Türleri

<b>Abrazyon</b>	-Düşük Gerilmeli (Çizme, Kayma) -Yüksek Gerilmeli (Öğütme) -Eşme Oyma -Parlatma
<b>Erozyon</b>	-Katı Parçacık Çarpması -Akışkan Çarpması -Kavitasyon -Slurry (Çamur) Erozyonu
<b>Adezyon</b>	-Yeme (Fretting) -Yapışıp Kaldırma -Kaynama -Sıyırma-Kaldırma -Oksidatif
<b>Yüzey Yorulması</b>	-Yorulma ile Çukurlaşma -Kavrama (Spalling) -Çarpma -Brinelling

Şekil 1: Aşınma türleri

Aşınma, kimyasal veya mekanik etkilerle istenmeyen malzeme kaybı olarak tanımlanır. Aşınmanın pek çok farklı türü vardır ve bazen birden fazla aşınma türünün

kombinasyonu şeklinde gelişebilirler (Şekil 1).

Bir aşınma sisteminde aşınan, aşındıran, yük ve hareket aşınmanın temel unsurlarındandır. Bu unsurların oluşturduğu sisteme 'tribolojik sistem' denir.

TBM keskinlerindeki aşınmalar, Şekil 1'de verilmiş olan aşınma türleri içerisinde, yüksek ve düşük gerilmeli abrazyon mekanizmasında gerçekleşmektedir.

## 2.1. Abrazif Aşınma

Bu aşınma türü bir biri üzerinde kayan yüzeylerin arasında aşındırıcı sert partiküllerin bulunması sonucu meydana gelmektedir. Sert partiküller ya dışarıdan sisteme girer veya aşınma mahsulleri olarak sistem içinde meydana gelir. Türleri;

- Kaba (makro) abrazyon (gauging abrasion): Çekiçli değirmenler, skrayper dişleri, cevher öğütme değirmenleri.
- İnce abrazyon (grinding abrasion): Yağ öğütmeli çimento değirmenleri, kum taşı değirmenleri
- Eroziv abrazyon (erosion abrasion): Pompa veya türbin lüle, kanat ve difüzörleri (Alsaran, 2010).

## 2.2. Sürtünme Mekanizması

Başlangıçta çok düşük yük seviyelerinde pürüzler temas ettikleri noktalarda elastik deformasyona uğrarlar. Yük arttıkça plastik deformasyon oluşur. Her biri pürüzün yüzey boyunca birleşme bölgeleri oluşturacak şekilde plastik deformasyona uğraması halinde yüzeye etki eden toplam yük Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanabilir.

$$dF_t = a \sigma_a \quad (2)$$

Burada, a; gerçek temas alanı,  $\sigma_a$ ; basma akma gerilmesidir.

Temas bölgelerinde meydana gelen plastik deformasyon sonucu, pürüzlerin uçları ezilir. Temas alanı boyunca atom-atom teması oluşur. Sonuç olarak birleşme noktaları ancak  $\tau_a$  kadar kayma gerilmesine dayanabilir. Bu da malzemenin kayma akma gerilmesidir (Gökşahin 2007; Kaymaz, 2011). Bu nedenle kaymaya neden olan  $F_s$  kuvveti Eşitlik 3 ile hesaplanabilir.

$$F_s = a \tau_a = a(\sigma_a / 2) \quad F_s = F_t / 2 \quad (3)$$

Disk yüzey basıncı p,  $\Delta s$  ezilme ve E elastisite modülü kullanılarak; diskin Hook kanunlarına uygun şekilde deforme olduğu ve yüzeylerin katı olduğu kabulleri ile,  $p = E \Delta s / s$  yazılabilir. Ezilme sonucu merkez

ötelemesi mx cinsinden ifade edilebilir (Eş. 4).

$$\Delta s = mx \cos \alpha \quad p = (mx / s) \cos \alpha \quad E \quad dN \quad (4)$$

Aşınma hesaplanırken çok zaman yüzeydeki gerilme belirlenir ve buradan hareketle yorulma analizi yapılır (MARC, 2000). Özellikle metallerde birim deformasyon ısı değişimine bağlı mekanik gerilmeye bağlıdır.

TBM kazı sürecinde diskler kaya ile temas ve sürtünme halindedir. Termodinamiğin birinci kanunundan, disk kesicinin işin bir kısmı, iç enerjiyi değiştirerek ısınmasına yol açar ve dayanımını düşürür (Eş. 5).

$$\varepsilon = \sigma / E + \alpha (T - T_0) \quad (5)$$

Burada,  
 $\varepsilon$  : birim deformasyon  
 $\sigma$  : termal gerilme  
 $\alpha$  : termal katsayı  
 $T$  : son sıcaklık  
 $T_0$  : ilk sıcaklık

Mekanik aşınmanın sıcaklığa bağlı miktarı Archard'ın modelinden (Eş. 6) değiştirilerek, Bayer'in eksponansiyel formülü (Eş. 7) kullanılarak hesaplanabilir.

$$w = KFGt/H \quad (6)$$

$$w = K/H \sigma^m V_{rel}^n \exp^{-T_0/T} \quad (7)$$

Burada, K; aşınma katsayısı, F; normal kuvvet, Gt; kayma mesafesi, H; sertlik, (w); normal düzleminden yüzeye doğru aşınma değişim oranı,  $\sigma$ ; Normal gerilme,  $V_{rel}$ ; Rölatif kayma hızı,  $T_0$ ; ilk sıcaklık, T; son sıcaklık'tır.

Sayısal analizlerde kaya malzemenin davranışı mohr-coulomb modeli ile tanımlanır. Yüksek dayanımlı çelik ise Yüksek dayanımlı çelik malzeme modeli ile ifade edilir.

Lineer elastik-tam plastik mohr-coulomb modelinde yenilme kriteri (Eş. 8);

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (8)$$

Burada, E; young modülü, c; kohezyon,  $\phi$ ; kırılma açısı'dır.

Mohr coulomb model koşulu birincil gerilmeye bağlı formülize edildiğinde üç yenilme fonksiyonunu içerir (Eş. 9-11).



$$f1 = \frac{1}{2}(\sigma'2 - \sigma'3) + \frac{1}{2}(\sigma'2 + \sigma'3)\sin\varphi - c\cos\varphi \leq 0 \quad (9)$$

$$f2 = \frac{1}{2}(\sigma'3 - \sigma'1) + \frac{1}{2}(\sigma'3 + \sigma'1)\sin\varphi - c\cos\varphi \leq 0 \quad (10)$$

$$f3 = \frac{1}{2}(\sigma'1 - \sigma'2) + \frac{1}{2}(\sigma'1 + \sigma'2)\sin\varphi - c\cos\varphi \leq 0 \quad (11)$$

Yenilme fonksiyonlarına ek olarak, plastik potansiyel fonksiyon da mohr-coulomb modelinde tanımlanmıştır (LSTC, 2011) (Eş. 12-14).

$$g1 = \frac{1}{2}(\sigma'2 - \sigma'3) + \frac{1}{2}(\sigma'2 + \sigma'3)\sin\varphi \quad (12)$$

$$g2 = \frac{1}{2}(\sigma'3 - \sigma'1) + \frac{1}{2}(\sigma'3 + \sigma'1)\sin\varphi \quad (13)$$

$$g3 = \frac{1}{2}(\sigma'1 - \sigma'2) + \frac{1}{2}(\sigma'1 + \sigma'2)\sin\varphi \quad (14)$$

Burada,  $\nu$ ; poisson oranı,  $\varphi$ ; dilatansi açısı'dır.

Yüksek dayanımlı çelik malzemenin gerilme ve deformasyonları elastik ve plastik ortam mekaniğiyle tanımlanır. Malzemenin gerilme ve birim deformasyon ilişkisi Eşitlik 15 kullanılarak ifade edilmektedir (LSTC, 2011).

$$\sigma_{ij} = (C_{ijkl}\epsilon_{kl}^e) = C_{ijkl}(\dot{\epsilon}_{kl} - \epsilon_{kl}^p) + C_{ijkl}(\dot{\epsilon}_{kl} - \epsilon_{kl}^p) \quad (15)$$

Burada;  $\epsilon_{kl}^e$ : elastik birim deformasyon,  $C_{ijkl}$ ; elastik sıkışmazlık,  $\epsilon_{kl}^p$ : plastik birim deformasyon,  $\epsilon_{kl}$ : toplam birim deformasyondur.

### 3 ÇALIŞMA SAHASI

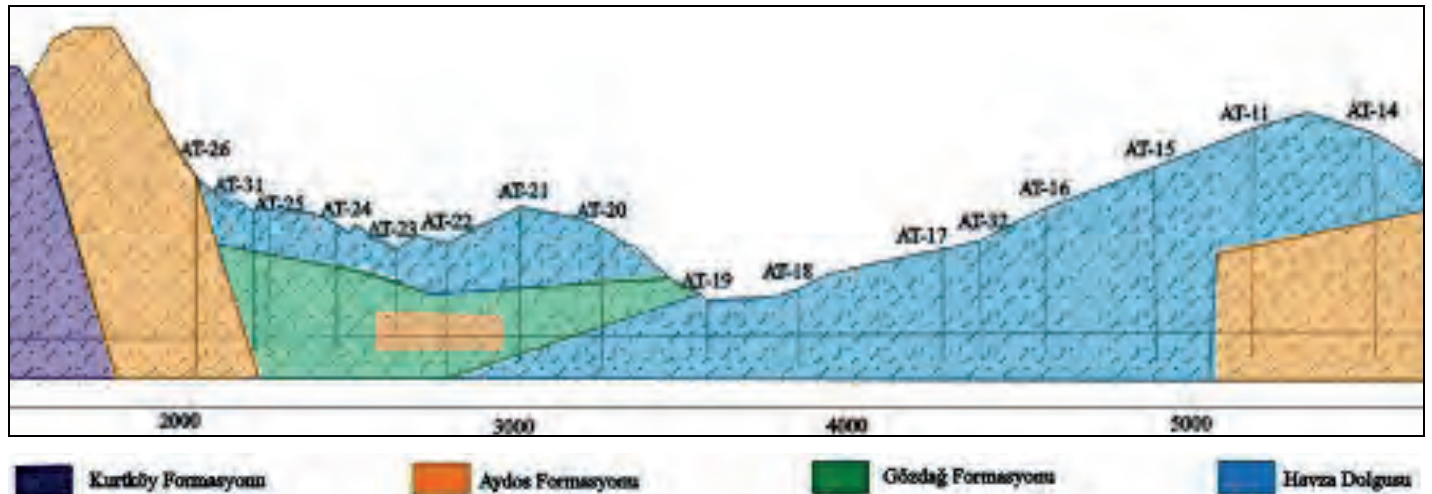
Çalışma yapılan atıksu tüneli, Ömerli Barajı Havzası'na giden atıksuların tüneli, kolektör ve şebeke hatları vasıtasıyla Atıksu Arıtma Tesisine iletilmesi amacıyla yürütülmektedir.

#### 3.1. Çalışma Sahası Jeolojisi

Çalışma sahası İstanbul Paleozoyik istifi içerisinde kalmaktadır. Bu istif, yaşları Ordovisiyen ile Karbonifer arası dönemde gelişmiş çökel kayalarını kapsar. İstanbul Paleozoyik istifinin tabanında Orta Ordovisiyen ve öncesi yaşlı Kurtköy Formasyonu bulunur. Kurtköy formasyonu mor renkli, çoğunlukla kaotik içyapılı, tabakalanması belirsiz çakıllaşları ile mor renkli, çapraz tabakalı kumtaşı-çamurtaşı ardalanmasından oluşur. Kurtköy formasyonu üzerinde bulunan çapraz tabakalı şeyl-siltaşı ara tabakalı pembe-alacalı ve beyaz renkli feldspatça zengin kuvars arenitler Aydos Formasyonunu meydana getirir. Orta Ordovisiyen yaşlı olan Aydos Formasyonu, üstten uyumlu bir ilişki ile orta Ordovisiyen-Landoveriyen yaşlı Gözdağ Formasyonuna geçer (Uz, 2007). Tünel hattında geçilen jeolojik birimler;

- Kurtköy Formasyonu
- Gözdağ Formasyonu
- Aydos Formasyonu
- Havza Dolgusu olarak belirlenmiştir.

İlgili sahada çalışmaya konu olan birim, Gözdağ formasyonu içinde bulunan Aydos formasyonuna ait kireçtaşı bloklarıdır. Çalışmaya konu olan birime ait jeolojik kesit haritası basitleştirilmiş olarak Şekil 2'de sunulmaktadır (Gumus vd., 2016, Akyuz, 2015).



Şekil 2: Çalışma sahası jeolojik kesidi

### 3.2. TBM Çalışma Parametreleri

Yürütülen tünel kazısında Herrenknecht marka pasa basınçlı (EPB) TBM kullanılmaktadır. 2,2 m iç çaplı tünelin uzunluğu 8.125 m'dir.

TBM Kesici kafa üzerinde 305 mm/12inch çaplı 15 adet keski bulunmaktadır. TBM önden görünüşü Şekil 3'de sunulmaktadır. TBM'de çeşitli zamanlarda farklı türlerde keski kullanılmıştır. TBM'de kullanılan disk çeşitleri Şekil 4'te gösterilmektedir (Url1).



Şekil 3: TBM ön cephe görünümü



Şekil 4: TBM'de farklı zamanlarda kullanılan kesiciler

#### 3.2.1. Sıcaklık Ölçümleri

Tünelde yapılan arazi çalışmaları sırasında farklı zamanlarda her keskinin üzerinden ortalama 15 ölçüm olacak şekilde 300'den fazla ölçüm alınmıştır. Çalışma esnasında kesici kafada bulunan keski türleri tekli monoblok, tekli toplanabilir, çiftli monoblok ve çiftli toplanabilir keski türleridir. Alınan sıcaklık ölçümleri, farklı ölçüm metrelerine göre sınıflandırılmıştır. Her ölçüm metresi için alınan sıcaklık verilerinin ortalamaları Çizelge 2'de sunulmaktadır. Ayrıca Zemin sıcaklığı, itme kuvveti, penetrasyon, kesici kafa dönüş hızı ve tork değerleri de aynı çizelgede sunulmaktadır.

Ölçümler esnasında kesici kafa gövde sıcaklığı ve kazılan formasyonun sıcaklığı da hesaplamalarda kullanılmak üzere kayıt altında tutulmuştur. Çalışmalar süresince zemin sıcaklığı ortalama 22°C ve gövde sıcaklığı da ortalama 27°C olarak ölçülmüştür.

2677m için sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilen disk sıkışması meydana gelmiş, 10 numaralı keskinin sıcaklığı 100°C sıcaklığa ulaştığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 2. Sıcaklık ölçümleri ve TBM verileri

Keski no	Keski Türü	Ölçülen Sıcaklık Değeri (°C)		
		İlerleme 2677 (m)	İlerleme 2740 (m)	İlerleme 2742(m)
1	Tekli top.	36,9	33,1	*
2	Tekli top.	37,8	33,2	*
3	Tekli top.	37,9	31,7	*
4	Tekli top.	38,3	35,7	*
5	Tekli mnb.	38,9	36,1	*
6	Tekli mnb.	42,8	38,6	*
7	Tekli mnb.	43,7	34,9	*
8	Çiftli mnb.	39,7	37,2	44,5
9	Çiftli mnb.	37,2	38,7	44,8
10	Çiftli top.	77,3	36	42,6
11	Çiftli top.	58,5	38,8	50
12	Çiftli top.	41,5	42,9	47
13	Çiftli top.	50,7	40,5	43,4
14	Tekli mnb.	39,2	32,5	31,4
15	Tekli top.	41,2	33,4	39,3
Zemin sıcaklığı(°C)		28,28	14,11	25,63
İtme kuvveti (kN)		2425	2458	2458
Penetrasyon		1,1	1,55	1,55
Kafa dönüş hızı (devir/dk)		4,68	4,59	4,59
Tork (kN)		207	247,4	247,4

\* ile işaretli keski türlerinde ilgili metrede ölçüm alınmamıştır.

Her bir keskinin aldığı yol ve attığı tur sayısı tünel geometrik parametreleri ve kesici kafa dönüş hızı vasıtasıyla hesaplanmıştır (Eş. 16- 21). İlgili keski türleri ise geometrik model üzerinde sunulmaktadır (Şekil 4).

$$H=\pi(L_n/2)^2 \quad (16)$$

$$h= \pi(d/2)^2 \quad (17)$$

$$a=H/h \quad (18)$$

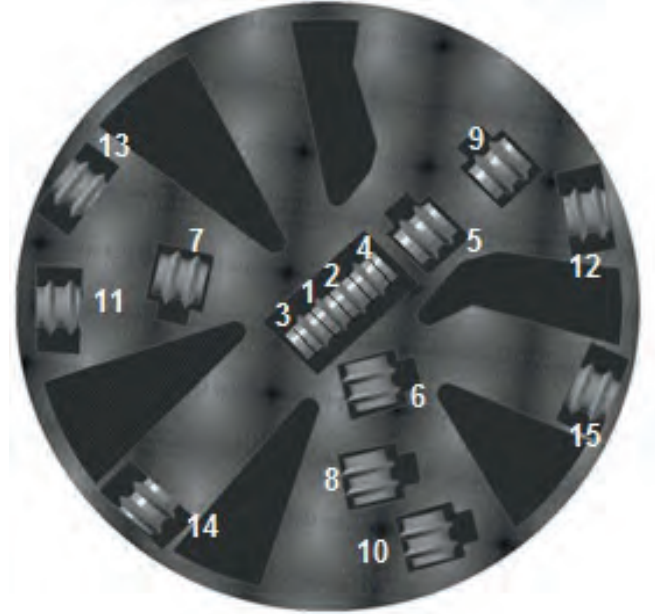
$$c=Hxn \quad (19)$$

$$t = Hx_n/h \quad (20)$$

$$V = d/Hx_n \quad (21)$$

Burada,  $L_n$  Keskinlerin merkeze olan uzaklığı;  $H$ ; Kesici kafa 1 tur döndüğünde keskinin katettiği mesafe;  $d$ ; Keski çapı;  $h$ ; keski çevre uzunluğu;  $a$ ; TBM 1 tur döndüğünde keskinin atacağı tur sayısı;  $c$ ; TBM'in saatteki tur sayısı;  $t$ ; Disk keskinin saatteki tur sayısı;  $V$ ; Disk keski hızı (m/sa)'dır.

Hesaplanan veriler Çizelge 3'de özet olarak sunulmaktadır (Kesici kafa dönüş hızı 4,68 devir/dakika için).



Şekil 5: TBM geometrik modeli

Çizelge 4. Mohr-Coulomb parametreleri

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	26
$E$ (kN/m <sup>3</sup> )	40000
$\nu$	0,3
$C$ (kN/m <sup>3</sup> )	0,1
$\phi$	34
$\psi$	0

Çizelge 5: Yüksek dayanımlı çelik malzeme parametreleri

Tanım	Değer
Sertlik (rockwell)	54
Çekme Dayanımı	1650 MPa
Akma Yenilme D.	9.0 %
Elastisite Modülü	210 GPa
Bulk Modülü	160 GPa
Poisson Oranı	0.30
Kayma Modulu	81.0 GPa
<b>Termal Parametreler</b>	<b>Metrik</b>
	11 pm/m-°C; 25.0-95.0°C
	11.5 pm/m-°C; 25.0-205°C
Isı Kapasitesi	0.460 J/g-°C; 0.000-100°C
Termal İletkenlik	24.3 W/m-K; 215°C
<b>Element İçeriği</b>	<b>Metrik</b>
Karbon, C	0.32 - 0.40 %
Krom, Cr	5.13-5.25%
Demir, Fe	>= 90.95 %
Molibden, Mo	1.33-1.4%
Silisyum, Si	1.0%
Vanadyum, V	1.0%

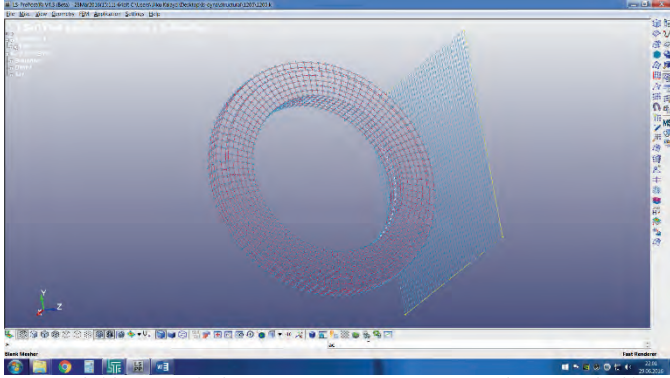
Keski No	Merkezden uzaklık (m)	Keskinin 1 turda aldığı yol (m)	Keski Hızı (m/dak)	Keski Hızı (m/sa)
1	0,2	1,1	5,3	317,6
2	0,2	1,1	5,3	317,6
3	0,5	2,8	13,2	793,9
4	0,5	2,8	13,2	793,9
5	0,5	3,1	14,7	882,2
6	0,6	3,6	17,1	1023,3
7	0,6	3,8	17,6	1058,6
8	0,7	4,3	20,3	1217,4
9	0,8	5,1	23,8	1429,1
10	0,9	5,7	26,5	1587,9
11	0,9	5,7	26,5	1587,9
12	1,0	6,0	27,9	1676,1
13	1,0	6,3	29,4	1764,3
14	1,0	6,3	29,4	1764,3
15	1,0	6,3	29,4	1764,3
y.ça				
p	1,1	6,9	5,3	317,6

Tünel çalışma müddetince, ring numarası, ilerleme mesafesi, toplam kuvvet, penetrasyon, ilerleme hızı, tork gibi TBM parametreleri cihazın otomatik kayıtlarından edinilmiştir.

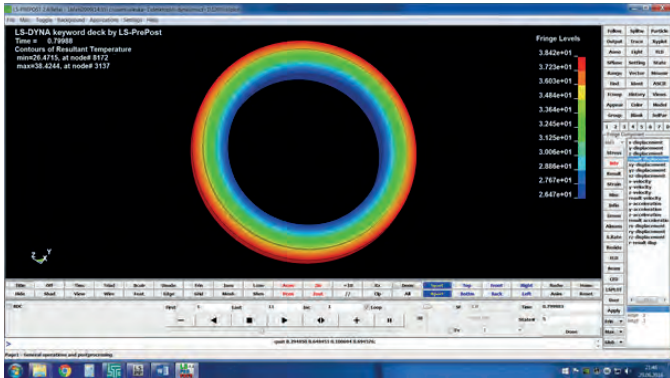
Termal benzetim modelinde kullanılacak mohr-coulomb malzeme modelinin yapısal parametreleri Çizelge 5'te, ultra yüksek dayanımlı disk çeliğinin termal parametreleri ise Çizelge 5'te sırasıyla özet olarak sunulmuştur.

Isıl ölçümü alınan metrajdaki kaya malzeme için Mohr-Coulomb model parametreleri (Kalaycı, 2016)'dan temin edilmiştir. TBM disklerinde, standart ultra yüksek dayanımlı çelik malzeme (Mat. no: 1.2344) kullanılmaktadır.

Elde edilen değerler programa tanıtılmıştır. Ölçülen değerler ve malzeme termo-mekanik özellikleri birlikte analiz edilerek elde edilen disk ısınma mesh modeli Şekil 6'da ve ısınma benzetim modeli Şekil 7'da sunulmuştur.



Şekil 6: Disk Penetrasyon Mesh Modeli



Şekil 7: Disk Termal Modeli

15 no'lu disk için 300 sn süre sonunda elde edilen sıcaklık değerleri modelde 38.1 derece bulunmuştur. Şekilde kırmızı renkli kısımlar en yüksek sıcaklıkları, maviye doğru gidildikçe düşük sıcaklıkları göstermektedir.

#### 4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Merkeze yakın keskinin ısısı çevre keskinlerden daha düşük seviyelerde ölçülmüştür. Bunun sebebi keskinin birbirlerine yakınlığı ve aldıkları yolların ve hızlarının göreceli olarak düşük olmasıdır.

Kazı esnasında kullanılan köpüğün gerilme dayanımı, baskı kuvvetinden çok küçük olduğu için ısınma mekanizmasında köpüğün etkisinin ihmal edilebilecek kadar düşük olacağı model çalışmalarından hareketle öngörülmüştür. Ancak pasanın bir hamur halinde toplanabilmesi için

kimyasalların kullanılması yeri doldurulamaz bir gerekliliktir.

Aşınmış keskinin, kesici kafa üzerinde aynı konumda olacağı varsayımıyla, hacimleri küçüleceği, temas yüzey alanı ve yüzey pürüzlülüğünün artacağı, dolayısıyla daha çok ısınacağı düşünülebilir. Ancak bu durum yalnız kendi geometrisine değil, TBM ayna dizaynına da bağlıdır. Aşınmış disk üzerine düşecek yük komşu keskinler üzerine aktarılabilir. Bu durum da komşu keskinlerin de daha fazla yıpranmasına sebep olur.

TBM disklerindeki ısınmanın ısı transferinden değil, sürtünmeden meydana geldiği, ölçülen gövde ve ayna sıcaklığından etkilenmediği görülmektedir. Bu durum sıkışan disklerde açıkça görülmüştür.

Ultra yüksek dayanımlı çelik malzemesinin aşınma katsayıları yüksek gerilimlerde 20° ile 50° arasında farklı değerlere sahiptir. Keskinin farklı sıcaklık değerlerinde farklı aşınma değerlerine sahip olacağı standart malzeme özelliklerinde de görülmektedir ve göz ardı edilmemelidir.

Sıkışan disklerin sıcaklığının 100°C'a kadar yükseldiği görülmüştür. Aynı pozisyonda disk sıkışmadığında sıcaklığının ≈40°C düzeyinde olması ölçüm sonuçlarından beklenmektedir.

Ölçülen disk sıcaklıklarının sıkışma olmadığı zamanlarda, çevre disklerde 39 merkez disklerde 34°C ortalamasında olduğu görülmüştür. Ortam sıcaklığı da 22°C, TBM gövde sıcaklığı ise 27°C'dir.

Elde edilen arazi ve malzeme termo-mekanik değerleri kullanılarak oluşturulan modelde keski sıcaklıkları 38,1°C olarak bulunmuştur. Bu değer gerçek değerlerle örtüşmektedir.

Sonuç olarak, TBM keski ısı ölçümünün mümkün olmadığı koşullarda sayısal modelleme çözümlerinden faydalanılmasının uygulamacılar için faydalı olabileceği görülmüştür.

#### TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmayı 51974 numaralı projesiyle destekleyen İstanbul Üniversitesi BAP Birimi'ne teşekkür eder.

#### KAYNAKLAR

- Alsaran, A., (2010), Sürtünme Ve Aşınma Hasarı Hasar Analizi Atatürk Üniversitesi, Ders Notları.
- Arı, H., (1994), Kayaç Özelliklerinin Keski Aşınmasına Etkileri Türkiye:8, Kömür Kongresi, Zonguldak.
- Balci, C., Bilgin, N., Copur, H., Tumac, D., Ve Akgün, M., (2007), Tünel Açma Makinelerinin

- (Tbm) Tam Boyutlu Kesme Deneyi İle Performans Tahmini, Birinci Maden Makinaları Sempozyumu, Tmmob Maden Mühendisleri Odası, Isbn 978-9944-89-277-3, Kütahya, Türkiye, Pp. 61-70.
- Bilgin, N., (1994), Yeraltı Kazılarında Mekanizasyon. Ulaşımında Yeraltı Kazıları 1. Sempozyumu, İstanbul.
- Bilgin, H., Çopur, H., Balcı, C., Tumaç, D., Akgül, M., Yüksel, A., Kahriman, A., 2007. Kadıköy – Kartal Metro Tünellerinde Kullanılacak Tünel Açma Makinelerinin (Tbm) Bazı Tasarım Parametrelerinin Kesme Deneyleri İle Belirlenmesi Ve Performans Tahmini, Ulaşımında Yeraltı Kazıları 2. Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 63-71.
- Bilgin, N., (1989), İnşaat Ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Gökşahin, E., (2007), “Sert Eloksal İle Kaplanmış 6xxx Serisi Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışının İncelenmesi” İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).
- Haeri H, Marji F, Kourosh (2014) Simulating The Effect Of Disc Erosion in Tbm Disc Cutters By A Semi-Infinite Ddm Shahriar Arab J Geosci Doi 10.1007/S12517-014-1489.
- Haeri, H., Shahriar, K., Marji, M. F., Moarefvand, P., (2013) Simulating The Bluntness Of Tbm Disc Cutters In Rocks Using Displacement Discontinuity Method, 13th International Conference On Fracture June 16–21, 2013, Beijing, China.
- Hassanpour, J. Tarigh S. Azali, Rostami, J. (2014), The Pennsylvania State University Tbm Performance And Tool Wear Prediction Along Two Lots Of Dyaaba Headrace Tunnel (Uma-Oya Project, Sri Lanka), North American Tunneling Proceedings, Pp: 236-244.
- Jeong, Ho-Young; Jeon, Seok-Won ; Cho, Jung-Woo A numerical study on rock cutting by a TBM disc cutter using SPH code Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association Volume 15, Issue ,3, 2013, pp.345-356 DOI : 10.9711/KTAJ.2013.15.3.345
- Kalaycı, Ü., (2016), Kayaç ve Süreksizlik Özellikleri Değişiminin Disk Keski Tüketimine Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi, Doktora Tezi, (Basılmamış).
- Kaymaz, İ., (2011), Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Triboloji Ders Notu.
- LSTC, Ls-Dyna theory manual.
- Marc, (2016), MSC Marc, theory manual.
- Menezes Pl, Lovell Mr, Linj-S, Higgs Cf.II. (2009), Finite Element Modeling of Discontinuous Chip Formation During Rock Cutting. In: Proceedings Of The Stle International Joint Tribology Conference 2009; Tennessee, (Usa), P.463–5.
- Önce, G., (1991), Madencilikte Kaya Mekaniği, Anadolu Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Yayınları No: 103, Eskişehir, 141 S.
- Özdemir, L., (1995), Mechanical Mining, Short Course Notebook, Colorado School Of Mines, Mining Eng. Dept., Golden.
- Singh, JP., (1989) A simple criterion for the machinability of hard rocks International Journal of Mining and Geological Engineering, 1989, 7, 257-266 (Technical Note).
- Song, L; Guo, W., Zhu, D., (2005), Heat Conduction Model of TBM Disc Cutter Cutting Temperature and Its Solution, The 14th IFToMM World Congress, Taipei, Taiwan, October 25-30, 2015.
- Tumaç D., (2010), Değişik Kayaç ve Disk Keskilerin Kayaç Kazılabilirliği Üzerine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- URL1; www.tunelder.org.tr Temmuz - Ağustos 2015 .sayısı.
- Uz, B., 2007, Akdağlar Madencilik A.Ş.’nin Ayazağa Köyü Cendere Mevkiinde Yer Alan Kırmataş Ocağı Ve Malzemenin Jeolojik/Yapısal, Mineralojik-Petrografik Ve Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Etüt Ve Değerlendirme Raporu, İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mineraloji Petrografi ABD., İstanbul.
- Liu, Y., (2003), “Lecture Notes: Introduction To The Finite Element Method”, University Of Cincinnati.
- Zhang, Z.X. Kou, S.Q. Lindqvist, P.A., (2001) “In-situ measurements of TBM cutter temperature in A. spo. Hard Rock Laboratory, Sweden” International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 38 585–590(Technical Note).J. C., 1997. Key Issues in Information Systems Management: An International Perspective. Journal of Management Information Systems, 13 (4), 91-116.

# TBM ile Açılan Silvan Sulama Tünelinde Yaşanan Metan Parlaması

## *Methane Flare in Silvan Irrigation Tunnel Opened by TBM*

D. Aydın, M. Ayhan, M. Ş. İmamoğlu

*Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*

M. Çoğalan

*Yertaş Turizm San. ve Mad. Tic. Ltd. Şti., Ankara*

**ÖZET** Bu çalışmada, Diyarbakır'ın Silvan ilçesi sınırları içinde yer alan ve Devlet Su İşleri denetiminde bulunan tam cepheli tünel açma makinası (TBM) ile açılan Silvan Barajına ait Silvan Sulama Tünelinin 4668,70. metresinde 21.04.2015 tarihinde meydana gelen ve 13 çalışanın yaralandığı metan parlama olayı ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Kömür havzaları dışında açılan tünellerde metan parlama/patlama olayının yaşanması ender rastlanan bir durum olması nedeniyle genelde metan varlığı dikkate alınmadan planlama yapılmakta, ayrıca bu konuda literatürde yeterli bilgi de bulunmamaktadır. Çalışma kapsamında, petrol-doğalgaz havzasında açılan bir sulama tüneline metan gazından kaynaklanan parlama olayının jeolojik nedenleri ve meydana gelme biçimi ayrıntılı bir şekilde araştırılıp olarak ortaya konmuştur. Tünel güzergahının projelendirme ve etüdü aşamasında metan ve diğer gazların varlığı ihtimalini göz önünde bulundurulması gerekliliği vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *TBM; Gazlı zemin; Tünel; Metan parlaması.*

**ABSTRACT** This study examines in detail the methane flare incident that occurred on 21.04.2015 at 4668,70<sup>th</sup> meter of the Silvan Irrigation Tunnel of the Silvan Dam opened by full-face tunnelling machines (TBM), which is under the supervision of State Hydraulic Works and is located within the borders of Silvan district of Diyarbakır province, when 13 workers were injured. Since the occurrence of methane flare/explosion event in tunnels opened outside coal basins is a rare incident, planning is generally made without considering the presence of methane, and the literature also does not contain sufficient information on this subject. Within the scope of the study, the geological reasons and the way of occurrence of the flare incident that results from the methane gas in an irrigation tunnel opened in an oil-natural gas basin were examined in detail and revealed. It was emphasised that the possibility of the presence of methane and other gases at the stages of projecting and study of tunnel routes should be taken into consideration.

**Keywords:** *TBM; Gassy ground; Tunnelling; Methane flare.*

## 1 GİRİŞ

Metan gazı esasen kömürle ilintili olmakla birlikte, çamurtaşı, şeyl vb. kayalarda ve bazı metal ocaklarında da bulunabilmektedir. Bununla birlikte doğalgaz rezervlerinin ve ceplerinin esasını da (%70-90 oranında) metan oluşturmaktadır. Ayrıca, atık sahaları, çöplükler gibi organik malzeme birikiminin depolandığı alanlarda da bu gaz ile karşılaşılabilir (Kissel, 2006). Doğal gaz; metan, etan, propan, butanlar ve heksanlardan oluşan bir karışımdır. En önemli bileşeni ise hacimce %70-90 oranıyla metandır.

Metanın havadaki oranı %4,5-14,5 aralığında olduğunda patlayıcı niteliğinde olup, en kolay patlama %7-8 aralığında, en şiddetli patlama ise %9,5 oranında gerçekleşmektedir. Tünel havasında hidrojen, etan ve propan gazlarının bulunması, karışımın alt patlama sınırını düşürmektedir. Ayrıca yüksek oksijen oranlarının söz konusu olma durumunda patlama aralığı da yükselmektedir (Kissel, 2006).

Tünelcilik işlerinde metan gazına rastlanması ender bir durum olması nedeniyle genelde metan varlığı dikkate alınmadan planlama yapılmaktadır. Gaz varlığının beklenmediği ya da önemsiz olacağı varsayılan sahalarda pek çok metan patlamasının olduğu görülmektedir (Kissel, 2006). Bu da tünel güzergahında, projelendirme ve etüt aşamasında gaz varlığı yönünden sağlıklı bir araştırmanın yapılması gerektiğini göstermektedir.

Dünyada TBM ile açılan tünellerde Silvan Tünelindeki olaya benzer vakalar yaşanmıştır

- 1971'de Los Angeles'ta 8,85 km uzunluğunda bir su tüneli, 6,8 m çaplı sert kaya TBM ile açılırken gaz patlaması olayı gerçekleşmiş ve 17 işçi ölmüştür. Olay sonrası tünelin petrol sahasından geçtiği anlaşılmıştır (Proctor, 2002).

- 1978'de Japonya'da sert kaya TBM ile açılan tünelde jeolojik süreksizliklerin bol olduğu bir antiklinalde biriken metanın patlaması sonucu 9 işçi ölmüş, 2 işçi yaralanmıştır. Olayda metan dedektörü alarm

vermiş ancak otomatik olarak güç kesme gerçekleşmemiştir (Kitajima, 2017a).

- İngiltere Carsington'da açılan çift hatlı 2,4 m çaplı ve toplam uzunluğu 8,5 km olan akadük tünelinin güzergahı metan içerikli bir formasyondan geçmesi şüphesi ile tüm ekipmanın antigrizu özellikli olması gerektiğine karar verilmiş ve bir dizi metan vakası gerçekleşmesine rağmen ölümlü bir kaza yaşanmamıştır (Pearson vd., 1989).

- 1984'te İngiltere'de yeraltı suyu içerisinde çözünerek tünele giren metan, boşluklarda birikip patlama değerlerine ulaşarak 16 kişinin ölümüne ve 28 kişinin yaralanmasına sebep olmuştur (Lockyer ve Howcroft, 1997).

- 1993 Japonya EPB-TBM ile açılacak metan varlığı öngörülmemiş tünelde, makine üzerindeki metan gaz sensörünün tünelin taç kısmından 90 cm aşağıya yerleştirilmiş olmasından dolayı patlamadan önce gaz varlığı tespit edilememiştir (Kitajima, 2017b).

- İspanya'da 10 m çapında çift kalkanlı TBM ile açılan Abdalajis hızlı tren tünel projesinde killi formasyonlardan kaynaklanan bir metan vakası yaşanmıştır. TBM'in önünde yapılan sondajlardan birinde, gaz basıncı 11 bar olarak ölçülmüştür (Grandori, 2004).

- 4,65 km uzunluğundaki Mill Creek Tüneli, ortalama 87 m'lik bir derinlikte 7,8 m çaplı, kalkanlı bir TBM ile kazılmıştır. Tünel güzergahı boyunca evsel tüketimler için açılmış sığ gaz kuyuları bulunmaktaydı. Ağustos 2004'te meydana gelen ilk gaz emisyonundan sonra kazı çalışmaları devam ederken tünelden olağandışı büyük miktarda metan gazı çıkışları gözlenmiştir. Gaz gelirleri sebebiyle olası bir gaz patlamasına karşı önlemler tamamlanana kadar çalışmalar 8 ay süreyle durdurulmuştur. Havalandırma kapasitesi artırılmış, gaz degajı için kuyular açılmış ve gaz izleme sistemi geliştirilmiştir (Schafer vd., 2007).

- 2007'de Çift kalkanlı TBM ile açılan 26 km uzunluğunda ve 6,73 m çapındaki Zagros tüneline, yüksek oranda H<sub>2</sub>S ve CH<sub>4</sub> gazları geliri yaşanmış ve bunun sonucunda kazı çalışması 4 ay durdurulmuştur (Shahriar vd., 2009).

• 2010 yılında EPB-TBM ile açılan İstanbul-Selimpaşa Atıksu tüneline; EPB-TBM'in kazı odasında bulunan pasanın metanın çıkışına engel olması nedeniyle birikmesi ve metanın patlama limitlerine ulaşarak konveyör açıklığından pasa ile birlikte tünele püskürmesi sırasında, burğu konveyör ile muhafaza borusu arasındaki sürtünmeden çıkan kıvılcımla buluşup meydana geldiği düşünülen bir metan patlaması meydana gelmiştir (Çopur vd., 2011).

## 2 TÜNEL JEOLJİSİ

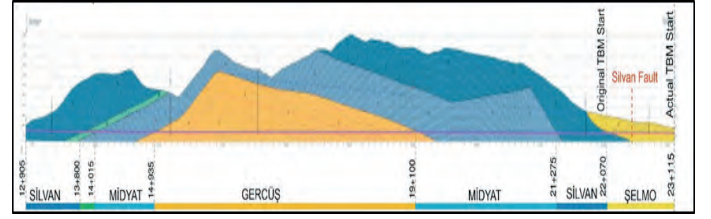
### 2.1. Projelendirme Aşamasında Yapılan Jeolojik Çalışmalar

Tünel güzergahı, Güneydoğu Anadolu bindirme kuşağının kıvrımlı kuşak üzerinde bulunan Hazro Antiklinalinde yer almaktadır. Bölgede, asimetrik kıvrımlar, ters faylar ile bunları belli bir açı ile kesen doğrultu atımlı faylar bulunmaktadır. Projelendirme aşamasında tünel güzergahında 5 adet temel sondajı açılmıştır (Şek.1) (BAR-SU Proje ve İnşaat Ltd.Şti., 2011).



Şekil 1. Projelendirme aşamasında açılan temel sondajlar.

Mühendislik jeolojisi raporu temel sondaj verilerine göre tünel güzergahı boyunca geçilmesi öngörülen formasyonların jeolojik kesiti Şekil 2'de verilmiştir (BAR-SU Proje ve İnşaat Ltd.Şti., 2011).



Şekil 2. Tünel güzergahı boyunca geçilmesi öngörülen formasyonların jeolojik kesiti.

Ancak tüneline kazı ve desteklemesi sırasında, beklenenin çok üzerinde su geliri ve ön görülmeyen parlayıcı patlayıcı gaz sorunlarıyla karşılaşmıştır. Gaz probleminin yaşandığı noktaya kadar (4668,70 m), tünel inşaatının yaklaşık %45'i tamamlanmış, geçilen formasyonlar ve devamlılıklarının mühendislik jeolojisi raporundan farklı olduğu görülmüştür.

Proje kapsamında açılması öngörülen 20420 m çift tünel için, toplam uzunluğu 798 m. olan 5 temel sondajı yapılmış, buradan sondaj yoğunluğunun 0,039 m/m olduğu görülmüştür. Bu değer oldukça düşüktür. Sondaj yoğunluğu, genelde projenin genel özelliklerine ve risk durumuna bağlı olarak 0,2-1,5 arasında değişmektedir. Büyük projelerde bu değer en az 1 civarında olmasına özen gösterilmelidir.

Jeoteknik araştırmaların maliyetinin proje bütçesindeki oranı ortalama %1,6 civarındadır. Daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için bu değer %3'e kadar artırılabilir. Birim jeoteknik araştırma yatırımına karşılık proje maliyetinde 15 birim kazanım sağlanabilmektedir (USNCTT, 1984).

Bu değerlerden görüldüğü üzere tünel güzergahında yapılan jeoteknik sondajlar yetersizdir. Tünel uzunluğunun 5378 m'lik (%52,7)bölümüne ait jeoteknik sondaj verisi bulunmamakta, söz konusu kaza da bu kesimde meydana gelmiştir.



## 2.2. Gaz Problemi Sonrasında Yapılan Jeolojik Çalışmalar

Tünelde yaşanan gaz sorununun nedenlerinin anlaşılabilmesi için olay sonrasında, tarafımızdan yapılan çalışmalar kapsamında bölgede farklı kurum ve kuruluşların daha önce yaptığı çalışmalar araştırılıp irdelenmiş; sonuç olarak bölgenin petrol ve doğalgaz havzası olduğu ve TPAO'nun bölgede önceki yıllarda bu amaçla açtığı sondajlardan 4 tanesinin tünel eksenine 300-400 m mesafede olduğu tespit edilmiştir (Şek. 3) (TPAO, 2015).



Şekil 3. Tünel güzergahının çevresinde açılmış doğal gaz sondaj kuyuları.

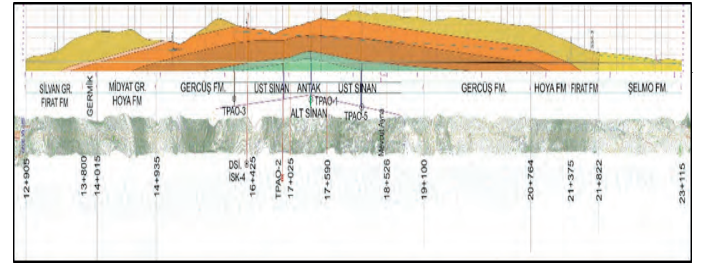
TPAO'nun tünel çevresinde açılan bu sondaj kuyularında, petrol ve doğal gaz varlığı tespit edilmiş özellikle tünel eksenine en yakın mesafede (~300 m) olan Taşpınar-1 kuyusunda, 656 psi basınçta, günlük 24000 m<sup>3</sup> doğalgaz üretim kapasitesi tespit edilmiştir.

Tünel açımı sırasında geçilen birimlerin, mühendislik jeolojisi raporunda öngörülen ile gerçek uzunlukları Çizelge 1. de verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi tünel ekseninde geçilen birimler ve uzunlukları, rapordan farklılık arz etmektedir.

Çizelge 1. Tünel eksenini boyunca öngörülen ve geçilen formasyon uzunlukları.

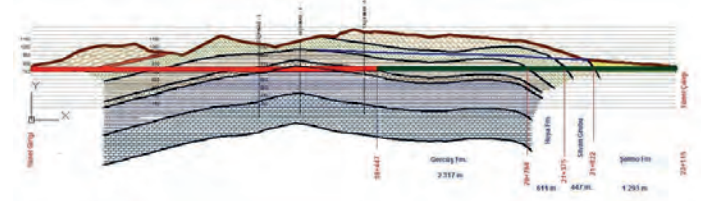
Formasyon	Öngörülen Uzunluk (m)	Geçilen uzunluk (m)
Şelmo	1050	1293
Silvan	805	447
Midyat	2175	661
Gercüş	4200	2187
Üst Sinan	-----	80

Tünel açımı sırasında elde edilen veriler ve bölgede TPAO'nun yaptığı petrol ve doğal gaz sondajlarından yararlanılarak çizilen yeni jeolojik kesit Şekil 4'de verilmiştir.

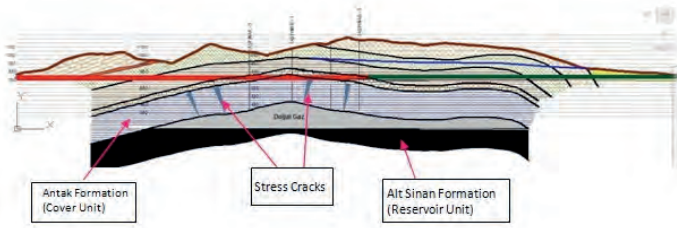


Şekil 4. Tünel açımı ve yeni sondajlarla elde edilen verilerle çizilen yeni jeolojik kesit.

Beklenen güzergahtan farklı olarak; Gercüş Formasyonundan sonra birim değişmiş Üst Sinan Formasyonuna girilmiş ve bu formasyonda 80 m ilerledikten sonra metan parlama olayı meydana gelmiştir. Parlamanın olduğu noktanın yaklaşık 400 m altında doğal gaz hazne kayası olan Alt Sinan Formasyonu yer almaktadır. Üst Sinan Formasyonu ve Alt Sinan Formasyonu arasında ise geçirimsiz Antak Formasyonu yer almaktadır (Şek. 5). Metan parlama noktasının antiklinal ekseninde olması ve bu bölgede tabakaların bükülmesi neticesinde oluşan gerilme çatlaklarından hazne kayadaki gazın tünele sızdığı öngörülmektedir (Şek. 6).



Şekil 5. Tünel boyunca kesilecek birimlerin kalınlık ve derinlikleri (Gümüş, V., 2015).



Şekil 6. Gaz sızıntısına neden olan gerilme çatlakları (Gümüş, V., 2015).

### 3 SİLVAN TÜNELİNDE YAŞANAN METAN PARLAMASI

Günümüzde tünel açma çalışmalarında eğilim, makine ile kazı (mekanize kazı) yönündedir. Özellikle bütün aynayı bir seferde kazan, tam cephe kazı makinaları (TBM) kullanılarak hızlı ve güvenli kazı yapılabilmektedir. Ancak ilk yatırım maliyetleri çok yüksek olan TBM ile kazıda sağlanan bu avantaj, formasyon özelliklerinin çok iyi tanımlanmasıyla mümkün olmaktadır (Ateş vd., 2014; Paltrinieri vd., 2016). Çünkü kapalı bir sistemde kazı aynasının ve geçilen formasyonların tam olarak izlenip kontrol edilememesi, özellikle riskli bölgelerde; ilerlemenin tamamen durması, projenin iptali, hatta makinanın yeraltında bırakılması gibi büyük dezavantajlar oluşabilmektedir (Price, 2009; İlci vd., 2014).

Serbest akım ve çift tüp şeklinde projelendirilen Silvan Tünelinin; iç çapı 7,00 m, dış çapı 7,60 m ve kazı çapı 7,90 m olup, her bir tüp 10210 m uzunluğundadır. Tünel kazısında Herrenknecht marka S-794 model çift kalkanlı sert kaya Tünel Açma Makinesi (TBM) kullanılmıştır. Silvan tüneli zor şartlarda açılan bir tünel olup, 21.04.2015 tarihinde tünelin 4668,70 m'de, metan (doğalgaz) parlaması meydana gelmiş ve bu olay sonucunda tünelde bulunan 13 çalışan çeşitli yerlerinden yaralanmıştır.

Metan patlaması ve metan parlaması (hızlı yanma) olaylarını birbirinden ayıran en önemli özellik, patlama olayında; büyük bir basınç ve vakumun oluşmasıdır. Basıncın yarattığı darbe etkisiyle büyük metal parçalarında kopma ve fırlama, cam kırılması, varsa bant üzerindeki pasanın saçılması, çalışanlarda darbe etkisiyle

yaralanma ve/veya ölüm olayları yaşanmaktadır. Parlama olayında ise basınç veya darbe etkisi daha düşük seviyelerdedir.

Tünel içinde yapılan keşifte, kesici kafa bölgesinden makine kuyruğuna kadar, darbe veya basınç etkisiyle bir hasarın oluşmaması, tünel içerisindeki en hafif malzemelerin (pet şişeler, karton bardaklar, eldivenler, baretler vs.) bile konumlarının değişmemesi ve çalışanlarda darbe etkisiyle bir yaralanmanın olmamasından hareketle yaşanan olayın metan parlaması olduğu kanaatine varılmıştır.

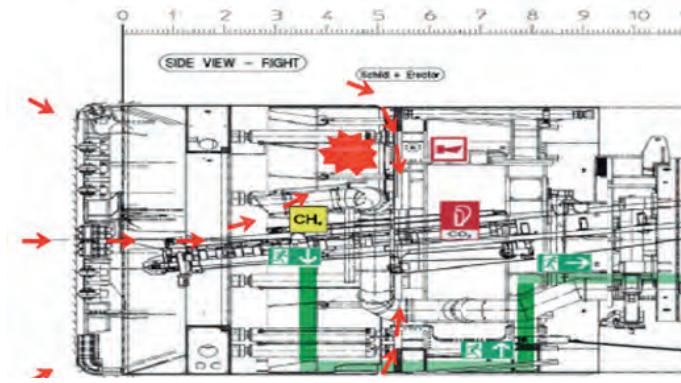
Metan parlama olayından önce TBM'in zayıf bir zona girdiğini ve itme kuvvetlerinin düştüğü tünelde görev yapan mühendisler ve teknik sorumlular tarafından gözlenmiştir. Bu durum makinanın öngörülmemiş bir fay zonunda çalıştığını göstermektedir. Fay zonunda biriken, yüksek basınç altındaki metan gazının, kesici kafanın merkezinde bulunan bunker açıklığı ve teleskopik kalkan ile makina arasındaki boşluktan, ani olarak tünel ortamına püskürüp makine üzerindeki sensörlerin metan gazının algılanmasına fırsat vermeden ateşleyici bir kaynakla buluşması sonucunda parlama olayının gerçekleştiği düşünülmektedir. Metan parlaması sırasında yüksek gaz gelirinin algılanmasına bağlı olarak, sensörler tarafından akımın otomatik olarak kesilip kesilmediği oluşan hasar nedeniyle tespit edilememiştir. Yaptığımız tespitlere göre; kesici kafa arkasında ani ve yüksek basınçlı degajla tünel ortamına giren ve tünel ekseninin üzerinde biriken gazın, metan patlama limitlerini hızla aşp ateşleyici bir kaynak ile buluşmasıyla parlama olayının meydana geldiği ve oksijeni izleyerek temiz hava üfleyen havalandırma fanına doğru ilerlediği gözlenmiştir (Şek. 7). Bandın üstünün yanıp alt kısmının yanmamış olması, parlama olayının tünelin orta seviyesinden başlayıp yukarıya doğru devam ettiğini işaret etmektedir.

Çizelge 2. 28/04/2015 tarihli tünel içi gaz ölçüm değerleri.

Ölçüm noktaları (m)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)
2205	2,30	20,1
2250	2,90	20,3
2355	2,33	20,3
3135	2,26	20,2
3600	2,40	20,2
3900	2,48	20,2
4540	2,50	20,0
4656	15,6	19,0

Çizelge 3. 29/04/2015 tarihli tünel içi gaz ölçüm değerleri.

Ölçüm noktaları (m)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)
2100	0,3	20,9
2445	0,3	20,9
3075	0,8	20,9
4656	0,5	20,5
4656	11	19
4538	0,8	20,3
4668	28,6	17,3

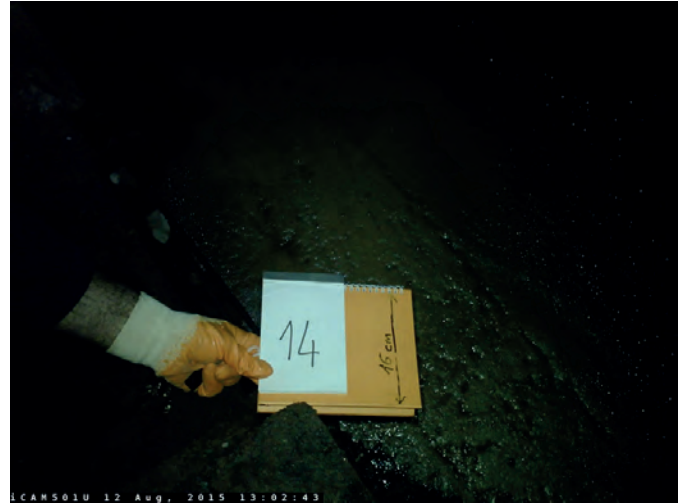


Şekil 7. Metanın tünel içerisine girişi ve muhtemel ilk parlama noktası.

İlk parlama olayı sırasında lastik bant ve diğer yanıcı malzemelerin yanması sonucu oluşan yüksek ısı ve açık alevler etkisiyle ortamdaki oksijen tüketilinceye kadar farklı noktalarda ardışıklı parlamaların yaşandığına dair emareler gözlenmiştir.

Metan parlama anında; tünelde son segment ringi döşendikten sonra itki pistonlarının açık, teleskopik şildin ise kapalı pozisyonda olduğu ve bant üzerinde az miktarda malzeme bulunduğu tespit edilmiştir. Bu durum, makinanın kazıya yeni başlanmış olduğuna işaret etmektedir.

Metan parlama olayında yaklaşık bir hafta sonra Zonguldak Türkiye Taşkömürü Kurumu'ndan getirilen tahlisiye ekibi tarafından tünelde gözlem ve gaz ölçümleri yapılmıştır. Aynada kırık, çatlak sistemleri ve gözeneklerden yüksek basınç altında gaz degajının devam ettiği ortamdaki sestan anlaşılmıştır. Tabanda biriken sıvı yüzeyinde gaz çıkışına bağlı olarak kabarcıklar gözlemlenmiştir (Şek. 8). Yapılan ölçümlerde özellikle aynada yüksek oranda metan varlığı tespit edilmiştir. Bu yüksek metan oranının yanı sıra ortamdaki oksijen oranının da yüksek olduğu ve yeni bir parlama/patlama olayının meydana gelme ihtimalinin devam ettiğini gözlemlenmiştir (Çiz. 2 ve Çiz. 3).



Şekil 8. Zeminde biriken sıvı içerisinde gözlenen gaz çıkışı.

#### 4 METAN PARLAMASI SONUCU TÜNELDE OLUŞAN HASARLAR

Metan parlaması olayında kafa bölgesi ve motorların arka kısmı metan parlamasıyla oluşan yangından en fazla zarar gören bölgedir. Özellikle orta kısımda bulunan motorların elektrikselsel aksamı, bant ve hidrolik ekipmanlar tamamen tahrip olmuştur. TBM'in ana üniteleri (teleskobik kalkan pistonları, hidrolik bağlantılar, kesici kafa motorları, kafaya yakın sensör kamera

ve flex vs.) büyük ölçüde hasar görmüştür. Kesici kafanın kullanılamaz durumda olması ve tüneldeki mevcut yüksek gaz seviyesinde alevli ve kıvılcımlı imalatla tamir işlemlerinin yapılamaması nedeniyle kesici kafa ünitesinin yeraltında bırakılmasına karar verilmiştir (Şek. 9).



Şekil 9. Metan parlaması sonrası kesici kafa motorlarının durumu.

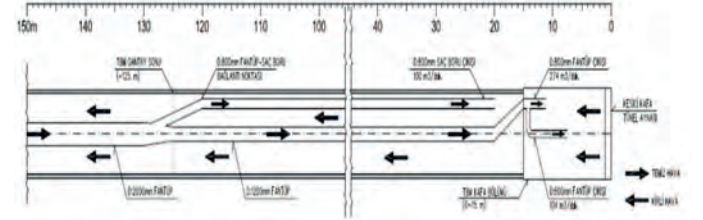
Bununla birlikte aynadan itibaren yaklaşık 48,50 m uzunluğundaki bölgeden nakliyat bandının yanmasıyla oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı betonarme segmentlerde yer yer kabuk atma olayının yaşandığı ve betonların dökülmesi nedeniyle donatıların açığa çıktığı gözlenmiştir (Şek. 10).



Şekil 10. Tünel tavanında yangına bağlı gözlenen beton dökülmeleri ve donatıların durumu.

Tünelde metan parlama olayından sonra metan konsantrasyonunun kabul edilebilir limitlerin çok üstünde olması ve gaz

emisyoununun devam etmesi nedeniyle bir takım iş sağlığı ve güvenliği önlemleri alınmıştır. Tünel girişinde bulunan 3x90kW, 20 m<sup>3</sup>/sn üfleyici vantilatör ile 24 saat kesintisiz olarak sağlanmış, enerji kesintisi durumunda otomatik olarak devreye girecek ve fanların kesintisiz çalışmasını sağlayacak jeneratör sistemi kurulmuştur. Tünel içinde oluşturulan hava kanalı; tavana iki hat şeklinde gerilen çelik halatlara asılı bulunan 2000 mm çapında, 100m boyundaki vantüplerin (esnek boru) eklenmesi ile 4500. metreye kadar ulaştırılmış ve bu noktadan sonra 800 mm çapındaki vantüplerle iki kola ayrılarak kesici kafa önüne kadar uzatılmıştır (Sek. 11).



Şekil 11. Revize edilmiş havalandırma sistemi.

## 5 SONUÇ

Son yıllarda hızlı ve güvenli kazı açısından TBM'ler çok daha yoğun tercih edilmesine rağmen, jeoteknik çalışmaların yetersiz ve jeolojik yapının iyi tanımlanmamış olduğu tünellerde kazı esnasında çok ciddi sorunlar yaşanmaktadır. Bu makinelerin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, kazı ve nihai desteklemenin birlikte yürütülmesi nedeniyle proje iptali ve riskli durumlarda makinanın yeraltında bırakılması gibi büyük dezavantajlar oluşabilmektedir. Bu konuya örnek teşkil edecek birçok tünel mevcuttur.

Silvan tünel güzergahı, projelendirme aşamasında ön görülmeyen doğal gaz-petrol havzasından geçirilmiştir. Bu çalışmada bir petrol-doğalgaz havzasında açılan bir sulama tüneline yaşanan metan parlama olayının jeolojik nedenleri ve meydana gelme biçimi ayrıntılı bir şekilde araştırılıp analiz edilmiştir. Mevcut tünelin terki, projenin iptali ve TBM kesici kafasının tünelde bırakılması ile sonuçlanan bu durum, tünel açma yöntemi ve makine seçiminde jeolojik etütlerin önemini bir kez daha ortaya

koymaktadır. Bununla birlikte sadece kömür yataklarının olduğu sahalarda açılan tünellerde değil, tüm tünel açma faaliyetlerinde gaz riski dikkate alınmalıdır. Çünkü süreksizlikler, kırıklı-çatlaklı yapılar ve özellikle fay zonlarında farklı kaynaklardan tünel ortamına gaz sızıntısı söz konusu olabilmektedir. Toplam tünel açma maliyetinde jeoteknik etüd maliyetinin çok küçük bir orana sahip olduğu bilinmekte olup, bu konuda gereken özen gösterilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Ateş U, Bilgin N, Çopur H (2014) Estimating torque, thrust and other design parameters of different type TBMs with some criticism to TBMs used in Turkish tunneling projects. *Tunnelling and Underground Space Technology* 40, 46-63.
- BAR-SU Proje ve İnşaat Ltd.Şti., 2011. Mühendislik Jeolojisi Raporu. Devlet Su İşleri 10. Bölge, 06/04/2011, 1-124.
- Çopur, H., Çınar M., Ökten G., Bilgin N., 2012. A case study on the methane explosion in the excavation chamber of an EPB-TBM and lessons learnt including some recent accidents. *Tunneling and Underground Space Technology*, 27, 159-167
- Grandori,R. (2006) Abdalajis East Railway Tunnel (Spain) double shield universal TBM cope with extremely poor and squeezing formations *Tunnelling and Underground Space Technology* 21, 268.
- Gümüş, V. Devlet Su İşleri, 10. Bölge Jeoteknik hizmetler ve Yeraltı Suları Daire Başkanlığı, 09.06.2015 tarihli bilgi notu.
- İlci N, Temel M, Sezgin S, Polat C, Bilgin N (2014) Effect of cutter clogging on performance of tunnel boring machine (TBM). *Turkish Tunneling and Underground Technologies Magazine*, ISSN 2148-1768, nr:6, 84-86.
- Kissel, F.N., 2006. Preventing methane gas explosions during tunnel construction. *Handbook for Methane Control in Mining*. IC 9486, pp. 169–184 (Chapter 14).
- Kitajima, M., 2017a. Methane Gas Explosion Hazard during Construction of Headrace Tunnel for Agriculture. < <http://www.sozogaku.com/fkd/en/cfen/CD1000099.html> > (accessed on 09.02.2017).
- Kitajima, M., 2017b. Methane Gas Explosion Hazard of an Earth Pressure type Shield Tunnel. < <http://www.sozogaku.com/fkd/en/cfen/CD1000098.html> >. (accessed on 09.02.2017).
- Lockyer, J.W., Howcroft, A., 1997. The Abbeystead Explosion Disaster. *Annals of Burns and Fire Disasters*, 10, September 1–4.
- Paltrinieri E, Sandrone F, Zhao J (2016) Analysis and estimation of gripper TBM performances in highly fractured and faulted rocks. *Tunnelling and Underground Space Technology* 52, 44-61.
- Pearson, C.F.C., Edwards, J.S., Durucan, S., 1989. Methane occurrences in the Carsington Aqueduct tunnel project-a case study. In: *Proceedings of the Rapid Excavation and Tunneling Conference*, pp. 176–195.
- Price DG (2009) *Engineering geology, principles and practice*, Chapter 10, 311.
- Proctor, R.J., 2002. The San Fernando tunnel explosion. *Eng. Geol.* 67, 1–3.
- Schafer, M., Pintabona, R., Lukajik, B., Kritzer, M., Janoska, S., Switalski, R., 2007. Gas mitigation in the Mill Creek Tunnel. In: *Proceedings of the Rapid Excavation and Tunneling Conference*, pp. 168–175.
- Shahriar, K., Rostami, J., Hamidi, J.K., 2009. TBM tunneling and analysis of high gas emission accident in Zagros long tunnel. In: *Proceedings of the World Tunnelling Congress, Budapest-Hungary*, pp. 171–172.
- Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, 20.05.2015 tarihli bilgi notu.
- US National Communittee on Tunnelling Technology, 1984 *Geotechnical site investigations for underground projects*.
- Wightman, N.R., Mackay, A., 2008. Gas ground investigation for tunneling works at Hung Hom freight depot, Hong Hong. In: *Proceedings of the World Tunnel Congress, Agra-India*, pp. 98–109.

# Konya-Ilgın Linyit İşletmesindeki Açık Ocak Yangın Riskinin İncelenmesi

## *Investigation of Lignite Open Pit Fire Risk in Konya-Ilgın Mines*

M. Gündoğar

*Yeni Çeltek Kömür ve Madencilik AŞ., Ilgın-Konya, Türkiye*

M. S. Delibalta

*Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 51240 Niğde, Türkiye*

**ÖZET** Ocak yangınları; kömür madenciliği faaliyetleri sırasında gerek dış kaynaklı (ekzotermik) gerekse iç kaynaklı (endotermik) yangınlar olarak ortaya çıkmakta, özellikle üretim faaliyetlerinin aksamasına, enerji kaynağı olan rezerv kaybına ve bunun sonucunda iş güvenliğine olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Ocak yangınları; en büyük riskleri yeraltı kömür ocaklarında gösterse de, açık işletmelerde de gerekli önlemler alınmadığında tehlikeli olabilmektedir. Ocak yangınları riski açık işletmelerde kullanılan araçların, bant konveyör sistemlerin, yağ atıklarının, makine ekipmanların sürtünme ve alev alma sebeplerinden dolayı olabileceği gibi, kömürün oksidasyonu sonucu açığa çıkan ısı reaksiyonu ile de meydana gelebilmektedir.

Ilgın linyit işletmesindeki 5 farklı üretim noktasından alınan kömür numunesi üzerinde yapılan kendiliğinden yanma deney sonuçlarına göre; kesişim noktası deneyleri çok fazla bir sapma göstermemiş, genel olarak tutuşma sıcaklığı 194-234 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Laboratuvar deneylerine göre; yangına yakınlık indeksleri 2,73-3,73 arasında, risk indeksi ise “düşük” olarak tespit edilmiştir. Ayrıca; alınan kömür numunelerinin TGA/DTA analiz sonuçlarına göre, linyitin kendiliğinden yanma aktifliği belirlenmiştir.

**ABSTRACT** Mine fires comes up as the outsourced (exothermic) and endogenous (endothermic) fires during the coal mining activities and they also causes the disruption of production activities, the loss of coal as the energy source and consequently major negative impact in terms of occupational safety. Although the biggest risks for mine fires are in underground mine, it can be also dangerous in open pit mines in case the required precautions don't be taken and combined with the personal mistakes. Mine fires risk can also occur with the vehicles and belt conveyor systems used in open pit and oil wastes for reasons of friction and flame of equipments or as a result of oxidation of coal with exposed thermal reactions.

According to the test results of spontaneous combustion in 5 different samples taken from the production point in Ilgın lignite mines; intersection tests did not show too much variability and ignition temperature is typically varied between 194-234 °C. Laboratory experiments have been identified that fire susceptibility index is between 2.73 to 3.73, and the index of risk is "low". Also; TGA / DTA analysis of the received coal samples are based on the results of experiments it has been determined the activity to the spontaneous combustion of Ilgın lignites.

## 1 GİRİŞ

Ocak yangınları; kömür ve oksijenin bulunduğu her ortamda gerçekleşebilecek bir kimyasal reaksiyon olmasından dolayı, sadece yeraltı maden işletmeleri ile sınırlı kalmamaktadır. Aynı zamanda; maden açık işletmeleri stok sahaları, kömür siloları, uzun mesafeli bant konveyör nakliyatında ve hatta apartman daireleri gibi açık yığınların bulunduğu ortamlarda dahi kendiliğinden yanma riski ile karşılaşmak mümkündür (Didari, 1986; Saraç ve Soyürk, 1992; Ünver ve Demirbilek, 1994).

Kömür, oksijen ile temas ettiğinde normal atmosferik koşullar ve düşük sıcaklıkta dahi olsa adsorpsiyon gerçekleşmekte, oluşan oksidasyon sonucunda karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazları ile ısı açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan ısının havalandırma ile atılmaması ve ısı üretim hızının soğutma hızından yüksek olması durumunda, sıcaklık artacak ve oksidasyon hızlanacaktır. Bu reaksiyon, ortamda ısının kömürün yanma sıcaklığına ulaşmasına kadar sürecek ve açık alev ile yanma şeklinde sonuçlanacaktır. Kömürün yavaş oksidasyonu ile kendiliğinden ısınması ve ısı birikimiyle yanmaya kadar gidebilmesi, madencilikte “kendiliğinden yanma” olarak adlandırılmaktadır (Kaymakçı, 1998; Şensöğüt, 1999).

Kendiliğinden yanma ve buna bağlı olarak ortaya çıkan açık ocak yangınları, Ilgın linyit işletmesinde de önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmakta, bazen stoka çekilen kömürlerin yanması sonucu büyük rezerv ve ekonomik kayıplara sebep olabilmektedir.

## 2 ILGIN LİNYİT İŞLETMESİ

Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Kurumu Konya-Ilgın İşletme Müdürlüğü; Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Müessesesine bağlı olarak faaliyetlerine devam etmekte iken, 14.02.2013 tarihinde TKİ ile Yeni Çeltik Kömür ve Madencilik AŞ tarafından imzalanan Rödövens sözleşmesi ile İR-71666 No'lu ruhsat sahasının işletmesi devredilerek, kontrol müdürlüğüne

dönüştürülmüştür. Yeni Çeltik Kömür ve Madencilik AŞ, 06.03.2013 tarihi sözleşme ile alt taşeron firması olan “Düzgün İş Makinaları İnşaat Madencilik Sanayi ve Ticaret AŞ” marifeti ile halen kömür üretim ve dekapaj faaliyetlerini sürdürmektedir (TKİ, 2015).

İşletme Ilgın ilçe merkezinde olup, Konya-Afyon karayolu (D-300) üzerinde, Konya'nın kuzeybatısında ve 87 km mesafededir. Linyit sahası ise Ilgın'ın kuzeyinde 22 km mesafede bulunmakta, ulaşım aynı yoldan sağlanmaktadır. Ilgın ilçesi çevre ilçelere (Akşehir 45 km, Doğanhisar 49 km, Kadınhanı 25 km) ve çevre illere (Konya 87 km, Afyon 130 km) asfalt yol ile bağlıdır. Ilgın ocak yolu asfalt olup, ulaşımına sürekli açıktır (Şek. 1).



Şekil 1. Ilgın linyit işletmesi yer bulduğu haritası (İLİ, 2013)

### 2.1 Jeolojik Yapı ve Üretim Yöntemi

İşletme sahasında, Paleozoik yaşlı şist ve kuarsitler ile Mezozoik yaşlı (muhtemel Kretase-Jura) kireçtaşları kömür oluşumu baseninin temelini oluşturan kayalardır. Rezerv alanı içinde işletilebilir tüvenan kömür kalınlığı 0,60-21,55 m arasında değişmektedir. Kömür oluşumu esnasında havzaya materyal gelişi dolayısıyla, zonda ve kömür içindeki ara kesmelerde kalınlaşmalar meydana gelmiştir. Kömür zonunun üst kısmında görünür rezerv alanında işletilebilir net kömür kalınlığı 1,58-11,88 m, Alt Isıl Değeri (AID) 2200-3500 Kcal/kg, yanıcı kükürt % 4-7,5 arasında değişen ve kül ergime sıcaklığı 1322 °C olan gri-açık yeşil renkli linyit mevcuttur.

Kömür zonunun gri-açık yeşil renkli linyitten sonraki kısmında ise, görünür rezerv alanında işletilebilir net kömür kalınlığı 1,30-11,77 m, AID 2000-3500 Kcal/kg, yanıcı kükürt % 2,5-3,5 arasında değişen ve kül ergime derecesi 1256 °C olan siyah renkli bitki izli linyit mevcuttur. Gri-açık yeşil linyit MTA laboratuvarında yapılan petrografik incelemede “linyitli kalkerli kil taşı” tanımlaması yapılmıştır (Çiz. 1).

Çizelge 1. TKİ-GLİ Ilgın linyit işletmesi kömür kimyasal analizi (İLİ, 2013)

Kısa Analiz (%)	Orijinal Kömür	Havada Kuru	Kuru Kömür	Kuru Külsüz
Nem	42,41	17,18	-	-
Kül	13,45	19,34	23,35	-
Uçucu madde	23,64	33,99	41,04	53,54
Sabit karbon	20,50	29,49	35,61	46,46
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Saf kömür	44,14	63,48	76,65	100
Kok	33,95	48,83	58,96	46,46
Gaz	66,05	51,17	41,04	53,54
Kok hassası		Tozlu ve siyah		
Yanar kükürt	0,74	1,06	1,28	-
Külde kükürt	0,60	0,86	1,04	-
Toplam kükürt	1,34	1,92	2,32	-
<b>Isıl Değeri (Kcal/kg)</b>				
Üst Isıl Değeri	2477	3562	4301	5611
Alt Isıl Değeri	2091	3270	4073	5314

İşletmede, kademeli basamak açık işletme yöntemi ile üretim yapılmaktadır (Şek. 2). Uygulanan basamak geometrileri;

Basamak şev açısı: Doğu kısmı 33°,  
Batı kısmı 45°

Basamak genişliği: 8 - 10 m

Basamak yüksekliği: 7 - 8 m

Genel şev açısı: 33° olarak alınmaktadır.



Şekil 2. Ilgın linyit İşletmesi kömür üretim genel görünüşü (Delibalta, 2013)

İşletmede 2013 yılından beri müteahhit firma marifetiyle üretim ve dekapaj faaliyetleri yapılmakta ve yıllık ortalama 600.000 ton kömür satışı yapılmaktadır. Jeolojik formasyonların orta sert kayaç olması dolayısıyla, kazı sırasında patlayıcı madde kullanılmaktadır. Kömür damarı üstündeki örtü tabakası kepçeli ekskavatörler ile kazılıp, kamyonlara yüklenmektedir.

### 3 AÇIK OCAK YANGINLARI TESPİT ÇALIŞMALARI

Bazı kömürlerin kendi kendine yanmaya çok yatkın olduğu ve bazılarının ise olmadığı, hatta bazı damaların tavanının yandığı ama tabanının yanmadığı olaylar bilinmektedir. Bunun nedeni, kömürde oksidasyonu başlatan temel parametrenin henüz tam olarak tespit edilememesidir. Ana unsurun organik ve anorganik kükürt olduğuna uzun yıllar inanılmıştır. Fakat bunun gerçek olmadığı, ancak kükürdün başlamış bir kızışmayı hızlandırdığı tespit edilmiştir. Her ne sebeple olursa olsun, kömürün kendi kendine yanmasına etkileri olduğu bilinen faktörler aşağıda verilmiştir (Bayraktar, 2013).

#### 3.1 Kendiliğinden Yanmayı Etkileyen Faktörler

Kömürlerde oksidasyon ve kendiliğinden yanmaya etki eden faktörleri iki ana başlık altında toplamak mümkündür.

- 1- İç Faktörler (kömürün yapısıyla ilgili özellikler),
- 2- Dış Faktörler (jeolojik koşullar, atmosferik ve işletme koşulları vs.).

Kömür ocaklarında kendiliğinden yanmayı etkileyen; fakat burada belirtilmeyen karbon içeriği, ısı iletkenliği, alkali içeriği, porozite, işletme derinliği, yan kayaç ısı iletkenliği, jeotermal gradyan, kullanılan tahkimat yöntemi, dolgu işlemi vs. gibi daha pek çok faktör vardır (Ökten, 1988; Kuzuluk, 2014). Bu parametrelerden en önemlileri, aşağıdaki Çizelge 2’de maddeler halinde verilmiştir.



Çizelge 2. Kendiliğinden yanmaya etki eden faktörler (Güney, 1968)

İç Faktörler	Dış Faktörler
Pirit	Sıcaklık
Nem	Nem
Tane boyutu ve yüzey alanı	Barometrik basınç
Kömür rankı ve petrografik bileşenler	Oksijen konsantrasyonu
Kimyasal bileşenler	Bakteri
Mineral madde	Kömür damarı ve yan taşlar
	Madencilik yöntemi
	Havalandırma sistemi

İlgın linyit işletmesi Çavuşçugöl sahası orta, taban tabakası ve silodan alınmış olan toplam 5 adet kömür numunesinin kendiliğinden yanmaya yatkinlıklarının araştırılması, Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümüne ait, Kendiliğinden Yanma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

### 3.2 Tutuşma Sıcaklığı Deneyi

Deney için hazırlanan 35 gr, -200 mesh boyutundaki kömür numuneleri sırasına göre reaktöre konularak, mini kompresörden alınan 100 cc/dakika'lık hava ile deney başlatılmıştır. Deney sırasında her 5 dakika'da bir etüv sıcaklığı, bir ucu numune içinde, diğer ucu da kaydedici içinde olan sıcaklık ölçer aracılığı ile değişimler izlenmiş ve kaydedilmiştir (Şek. 3).



Şekil 3. Tutuşma sıcaklığı deney seti görünümü (Gündoğar, 2016)

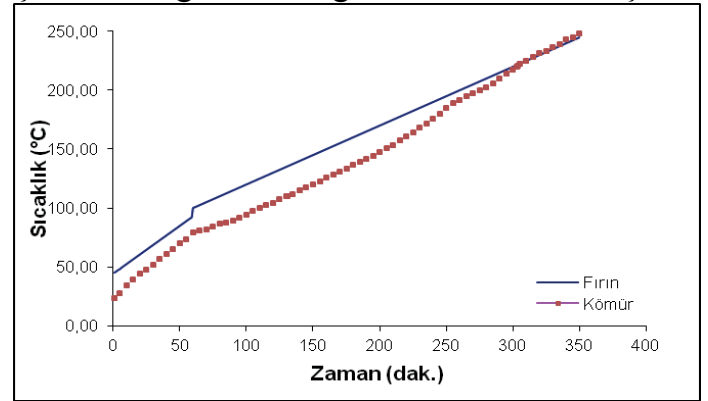
Yapılan yanma deneylerinde; reaktif tutuşma sıcaklıkları, ortalama sıcaklık artışları

(OSA), tutuşma sıcaklığı (FCC) ve yatkinlık indeksi (LI) ölçülmüştür. Bu değerler, tutuşabilirlik grafikleri ile gösterilmiştir. Kömürün kendiliğinden yanmaya yatkinlığını göstermek için, genel olarak Çizelge 3'te verilen sınıflama kullanılmaktadır.

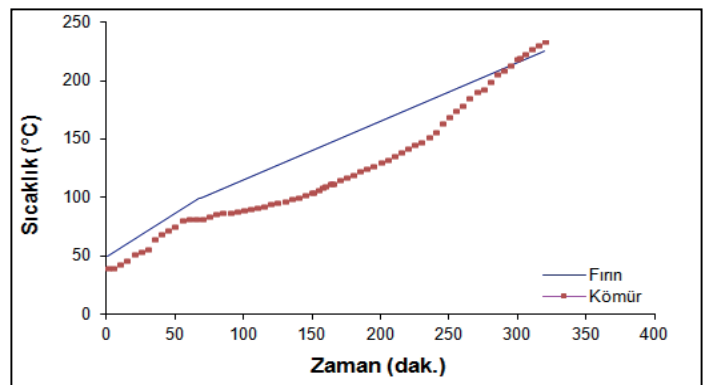
Çizelge 3. Kendiliğinden yanmaya yatkinlık indeksi (Şensöğüt, 1999)

Yatkinlık indeksi (LI) dk"	Yorum
0 - 5	Düşük
5 - 10	Orta
> 10	Yüksek

İşletme sahasındaki birinci formasyondan alınan taban ve orta tabaka kömürünün tutuşabilirlik deney sonuçları, Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilen grafikler ile verilmiştir.



Şekil 4. Birinci formasyon orta tabaka kömürü tutuşabilirlik eğrisi



Şekil 5. Birinci formasyon taban kömürü tutuşabilirlik eğrisi

Yapılan deney sonuçlarına göre; alınan kömür numunelerin kesişim noktası deneyleri çok fazla bir değişkenlik göstermemiş, genelde tutuşma sıcaklığı 194-

217°C arasında değişmektedir. Ortalama sıcaklık artışlarının da düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca; yanmaya yatkınlık indeksleri 2,73-3,73 arasında değiştiği görülmüştür (Çiz. 4).

Çizelge 4. İlgün linyitleri tutuşma sıcaklığı deney sonuçları (Gündoğar, 2016)

Numune Adı	OSA (°C/dk)	Risk İndeksi	Risk Sınıflandırması
1.Formasyon orta tabaka	0,6395	2,7330	Düşük
1.Formasyon taban kömürü	0,7638	3,6203	Düşük
2.Formasyon orta tabaka	0,7236	3,7303	Düşük
2.Formasyon taban kömürü	0,62146	2,8639	Düşük
Silo kömürü	0,63953	3,0251	Düşük

Bu verilere göre; İlgün açık ocak linyitlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlığı “düşük” risk grubunda olduğu tespit edilmiştir. Ancak; İlgün linyitlerinin %40’ın üzerinde nem içermesi, kesişim noktasında yapay bir yükselme meydana getirmektedir. Özellikle; işletmede belli bir süre bekletilmekte olan kömürün üzerinden çıkan beyaz renkli dumanlar, stoka çekilen kömürlerin neminin artmasının bir göstergesidir. İlgün linyitleri düşük risk grubunda olmasına rağmen; kendiliğinden yanma olmaması için, çevre koşulları olan rüzgâr ve yağmur gibi dış etkenlere maruz kalmadan stoktan çabuk sevki gerekmektedir. Aksi halde, yüksek ısınma hızı ve düşük tutuşma sıcaklığına sahip kömürlerin, kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının daha fazla olacağı açıktır.

### 3.3 TGA/DTA Analiz Deneyleri

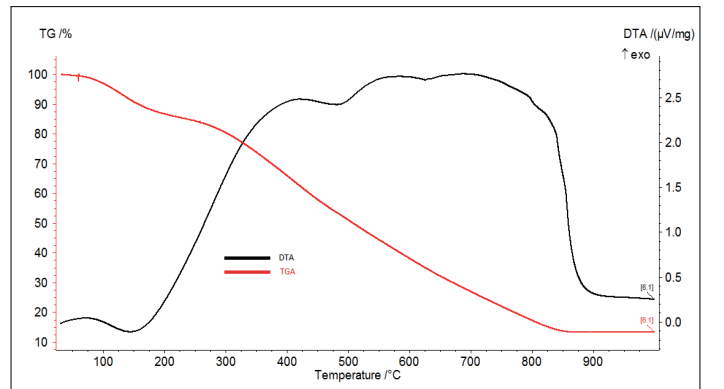
Bir malzemenin sıcaklık artışı ile bünyesinde meydana gelen termal ve gravimetrik değişimleri belirlemekte kullanılır. Malzeme bünyesinde meydana gelen ağırlık değişimleri (su kaybı, organik madde uzaklaşması gibi) termogravimetri (TG), ekzotermik ya da endotermik reaksiyonlar sonucu meydana gelen sıcaklık değişimleri diferansiyel termal analiz (DTA) cihazı ile tespit edilmektedir (Şek. 6). DTA; incelenen numunenin erime, kaynama, parçalanma

noktalarını yüksek bir doğrulukla tayin etmektedir. Ayrıca, kristalleşme ve faz değişimleri hakkında da bilgi vermektedir.

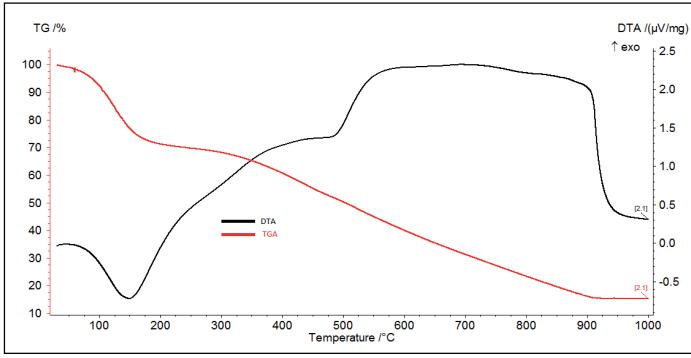


Şekil 6. TGA/DTA analiz cihazı (Gündoğar, 2016)

İlgün linyit işletmesindeki 5 farklı noktadan alınan kömür numunelerinin TGA/DTA analizleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM)’da yapılmıştır. Alınan numuneler gerekli boyut küçültme işleminden sonra, 10 gr ağırlığındaki numune cihaza konularak, normal şartlarda deney gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları bilgisayarda otomatik olarak kayıt altına alınarak, birinci formasyona ait grafikler Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 7. Birinci formasyon orta tabaka kömürü TGA/DTA analiz eğrisi



Şekil 8. Birinci formasyon taban kömürü TGA/DTA analiz eğrisi

Deney sonuçları ve alınan DTA analiz grafikleri incelendiğinde, kömür numuneleri başta endotermik bir reaksiyon göstermektedir. Bu durumda kömürün 0-200 °C arasında nemini attığı, daha sonra hızlı bir reaksiyona girerek 200-300 °C arasında ani bir değişim göstererek ekzotermik reaksiyon ile kömürün ortam sıcaklığına bağlı olarak oksidasyona uğradığı, böylece kendiliğinden yanma meydana gelebileceği söylenebilir. Burada; numunenin ekzotermik reaksiyon vermeye başladığı andan itibaren ki grafiğin ani yükseleşiminin eğimidir. Bu da kömürün kısmen kendiliğinden yanmaya yatkınlığını göstermektedir. TGA analiz grafiğine bakıldığında ise; numune ağırlığında sürekli bir azalma izlenmekte, özellikle 0-200 °C’de genellikle hızlı bir düşüş meydana geldiği gözlenmektedir, bu da kömür numunelerinden nemin uzaklaştığını kanıtlamaktadır (bkz. Şek. 7 - 8). Daha sonraki sıcaklık periyotlarında ise, kömür numunesi kısmen reaksiyona uğrayarak çok az ağırlık kaybını sürdürmektedir.

#### 4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Kömür madenciliği faaliyetleri sırasında gerek dış kaynaklı (ekzotermik) gerekse iç kaynaklı (endotermik) olarak meydana gelen ocak yangınları; işletmelerde özellikle üretim faaliyetlerinin aksamasına, rezerv kaybına, iş sağlığı ve güvenliği gibi unsurların yok olmasına sebep olmaktadır.

Ocak yangınları; en büyük riskleri yeraltı kömür ocaklarında gösterse de, açık işletmelerde de gerekli önlemler alınmadığı takdirde çok tehlikeli olabilmektedir. Ocak yangınları riski açık işletmelerde kullanılan

makine, ekipmanların sürtünme ve alev alma vs. sebeplerden dolayı olabileceği gibi, kömürün oksidasyonu sonucu açığa çıkan ısı reaksiyonu ile de meydana gelebilmektedir.

İlgün linyit işletmesindeki 5 farklı üretim noktasından alınan kömür numunesi üzerinde yapılan kendiliğinden yanma deney sonuçlarına göre; kesişim noktası deneyleri çok fazla bir sapma göstermemiş olup, genelde tutuşma sıcaklığı 194-234 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Laboratuvar deneylerine göre; yangına yatkınlık indeksleri 2,73-3,73 arasında, risk indeksi ise “düşük” olarak tespit edilmiştir. Ayrıca; yapılan TGA/DTA analizlerinde ise, ocak kömürleri başlağıçta 0-200 °C arasında nemini atarak endotermik reaksiyon göstermiş, daha sonra 200-300 °C arasında hızlı bir artış göstererek ekzotermik reaksiyon göstererek, kömürün ortam sıcaklığına bağlı olarak oksidasyona uğradığı ve kendiliğinden yanma meydana getirebileceği gözlenmiştir. Aynı sahada daha önce yapılan araştırmalar da, tespit edilen bu sonuçları desteklemektedir.

İşletmede kendiliğinden yanmaya önleyici tedbirler olarak; kömürün olabildiğince hava ile teması kısa tutulmalı, stoklanma sürelerine dikkat edilmelidir. Piyasa talebine göre, kömürün stoka çekilme miktarı belirlenmelidir. Gereğinden fazla ve satılamayacak kömürün stoklanması, hem ekonomik hem de ekolojik yönden pek çok zarara sebep olabileceği düşünülmelidir.

Açık ocak yangınlarında önemli olan, yangınların oluşmaması için gerekli tüm önlemleri önceden almaktır. Unutulmamalıdır ki; kazaları önlemek her zaman için ödemekten daha sağlıklı, güvenilir ve ucuz bir yöntemdir.

#### TEŞEKKÜR

Yazarlar; kömür yanma ve TGA/DTA analizlerinin yapılmasında katkıda bulunan Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama - Araştırma Merkezi (TUAM) yönetici ve personellerine teşekkürlerini sunar.

## KAYNAKLAR

- Bayraktar, A., 2013. *Yeraltı Maden İşletmelerinde Ocak Yangınları*, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, Ankara, 55s.
- Delibalta, M. S., 2013. TKİ-GLİ Ilgın Linyitleri İşletmesinin Ekonomik ve Ekolojik Önemi, *II. Ulusal Ilgın Sempozyumu*, Ilgın Belediyesi, 10s., Eylül 2013, Ilgın / Konya.
- Didari, V., 1986. Yeraltı ocaklarında kömürün kendiliğinden yanması ve risk indeksleri, *Madencilik*, 25, s.31-32.
- Gündoğar, M., 2016. TKİ Konya-Ilgın Kömür Açık İşletmesinde Ocak Yangınları Riskinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 80s.
- Güney, M., 1968. Certain Factors Affecting the Oxidation and the Spontaneous Combustion of Coal, *Min. Soc. Mag. Univ. Nott*, s.5-20.
- İLİ, 2013. TKİ-Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi Ilgın Linyitleri İşletmesi-İLİ Kontrol Müdürlüğü, Açık İşletmeler, <http://www.ili.gov.tr>, Ilgın / Konya.
- Kaymakçı, E., 1998. Zonguldak havzası kömür damarlarına uygulanabilecek bir kendiliğinden yanmaya doğal yatkınlığı değerlendirme tekniğinin geliştirilmesi, Doktora Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, s.78- 84.
- Kuzuluk, E., 2014. Farklı miktar ve özellikteki kömür yığınlarının kendiliğinden yanma davranışları, önlenmesi ve önceden tespit edilmesine bir örnek; Çayırhan kömür stokları, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, s.5-45.
- Ökten, G., 1988. Kömürün Kendiliğinden Yanması ve Önlenmesi için Alınacak Tedbirler, Kömür Kimyası ve Teknolojisi, O. Kural (Editör), İstanbul, s.103-113.
- Saraç, S. ve Soytürk, T., 1992. Tunçbilek kömürlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının araştırılması, *Türkiye 8. Kömür Kongresi*, s.141-152., Zonguldak.
- Şensöğüt, C., 1999. Türk Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlığı - Ilgın Linyitleri Örneği, *Madencilik*, Cilt 38, Sayı 1, s.45-52.
- TKİ, 2015. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, İR-71666 numaralı ruhsat sahası uygulama projesi, yayımlanmamış, s.5-15.
- Ünver, B. ve Demirbilek, S., 1994. Kömür karışımli pasaların kendiliğinden yanma riski potansiyelinin analizi, *Türkiye 9. Kömür Kongresi*, s.317-318, Zonguldak.

# Çanakkale, Tuzla Bölgesi Jeotermal Sondaj Sahasının İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi ve Risk Analizi

## *Evaluation of the Occupational Health Safety and Risk Analysis in the Çanakkale, Tuzla Geothermal Drilling Region*

Y. Erdoğan, O. E. Kök

*İskenderun Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İskenderun/Hatay*

İ. Tanrıverdi

*İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun/Hatay*

**ÖZET** Türkiye’de, Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) istatistiklerine göre, her 7 dakikada bir iş kazası olmakta, her 10,8 saatte bir çalışan hayatını kaybetmekte ve her 5.5 saatte ise; bir işçi sakat kalmaktadır. Yapılan bu çalışmada, Çanakkale, Tuzla bölgesindeki jeotermal enerji sondaj sahası, iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmiştir. Yapılan sondaj 102 gün sürede ve 2542 metre derinlikte tamamlanmıştır. Sondaj süresi boyunca iş kazası meydana gelmemiştir. Sondaj operasyonunda tehlike oluşturabilecek kaynaklar beş ana başlıkta toplanmıştır. Bu tehlike kaynakları incelenerek risk analizleri yapılmış ve risklerin olasılık derecelerinde azaltmalara gidilmiştir.

**ABSTRACT** In Turkey, there were been accidents every 7 minutes, died employee lives in every 10.8 hours, a worker is disable to work in every 5.5 hours due to statistics of the Social Security Institution (SSI). In this study, Tuzla region in Çanakkale was evaluated in terms of occupational health and safety in the geothermal energy drilling area. This drilling was completed in 102 days and at a depth of 2542 meters during the drilling period, accidents didn’t occur. These sources that may pose a risk in the drilling operation are summarized in five main sections. The sources of these hazards were examined, risk analyzes were done and the risks were reduced to a reasonable degree.

## 1 GİRİŞ

İş sağlığı ve güvenliğine verilen önemin artması ile birlikte risk değerlendirmesi, dünyada ve ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının temelini oluşturmaya başlamıştır. Dünyada yaşanan gelişmelere paralel olarak ülkemizde de risk değerlendirmesinin önemi artmış, iş sağlığı ve güvenliği mevzuatında yapılan değişikliklerle risk değerlendirmesi zorunlu hale gelmiştir. Çalışma ortamındaki risklerin

değerlendirilmesi, uluslararası alanda Kabul görmüş bir yaklaşımdır. Avrupa Birliği’ne uyum çalışmaları çerçevesinde, ülkelerin iş hukuku mevzuatı, bir işletmede çalışanların sağlığının korunmasına yönelik yönetim sistemlerini zorunlu kılmaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tarafından 1981 yılında kabul edilen ve Türkiye tarafından 2004 yılında imzalanarak yürürlüğe giren İş Sağlığı ve Güvenliği ve Çalışma Ortamına ilişkin 155 Sayılı Sözleşme'nin (Mesleki Sağlık ve Güvenlik

Konferansı) 16. maddesindeki "Makul olduğu ölçüde, işverenlerden, kontrolleri altındaki işyerleri, makine, teçhizat ve usullerin güvenlik ve sağlık bakımından riskli olmamasını sağlamaları istenecektir.

Makul olduğu ölçüde, işverenlerden, kontrolleri altındaki kimyasal, fiziksel ve biyolojik madde ve etkenlerin, gerekli uygun önlemler alındığında, sağlık için risk oluşturmamasını sağlamaları istenecektir. İşverenlerden, gerektiğinde kaza riskinin veya sağlık üzerindeki ters etkilerin imkanlar ölçüsünde önlenmesi için, uygun koruyucu elbise ve donanımı sağlamaları istenecektir (http://www.ilo.org, 2015; Anonim, 2012; Özkılıç 2002, TS 18001, 2008).

İş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında amaç, işçi sağlığını korumaktır. İşyerinde bulunan teknik ekipmanlar ve çalışma şartlarından kaynaklanan çeşitli riskler nedeni ile zaman zaman çalışanların sağlığı bozulmaktadır. Sağlığı bozulan personelin hastalık teşhisi ve tedavisi de işçi sağlığı ve güvenliği çalışmalarının bir parçasıdır. Fakat bu çalışmaların asıl amacı; işyeri ortamında bulunan risklerin analiz edilmesi ile riskleri kontrol altına alarak, işyerini sağlıklı ve güvenli bir yer haline getirmek ve çalışan personelin sağlığının olumsuz etkilenmesi engellemektir (Bhagwati, 2006).

Dünyada meydana gelen hızlı sanayileşme ve teknolojik gelişmeler ile doğru orantılı olarak özellikle iş yerlerinde çalışan kişilerin güvenliği ile ilgili bazı sorunlar da açığa çıkmıştır. Bu sebeple bir takım önlemleri önceden alarak iş yerlerini güvenli hale getirmek gerektiğinden iş güvenliği oldukça önem kazanmıştır.

Sondaj sektörü, dünyada ve ülkemizde çalışma şartları gereği en riskli mesleklerden biridir. Bu nedenle madencilik, petrol ve doğalgaz gibi iş kolları iş sağlığı ve güvenliği kavramının ortaya çıkmasına sebep olan ana sektörler arasındadır. Özellikle petrol, sıcak su ve maden arama sahalarında iş kazası ve meslek hastalığı

yönünden önemli riskler yer almaktadır. Bunun için, nitel risk analiz yöntemleriyle olası riskler ve acil olarak giderilmesi gereken tehlikeler önceden saptanabilmekte, nicel risk analiziyle de sistemin simülasyonu yapılarak, proste belli bir zaman aralığı boyunca gerçekleşebilecek olaylar ve etkileri önceden belirlenebilmelidir. Böylece, gerekli önlemler alınabilmektedir (Kuyucu, 2008; Sipahi, 2006).

Bu çalışmada Çanakkale Çamköy formasyonunda yapılan bir jeotermal sondaj sahası incelenmiştir. Yüksek risk içeren sondaj sektöründe yapılan bu çalışma ile önceden tehlikelerin belirlenmesi ve giderilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle sondaj esnasında sahadaki tüm tehlikeler beş sınıfa ayrılmış ve tehlike kaynakları detaylı bir şekilde belirlenmiştir. Belirlenen tüm tehlikelerin şiddet dereceleri belirlenerek risk analizleri yapılmıştır. Risk analizleri sonucu gözlemlenen tehlikeler için önlemler alınmış, denetlemeleri yapılmış ve tehlikeler giderilmiştir.

## 2 ÇALIŞMA ALANI

Çalışma Çanakkale ili Çamköy mevkiinde yer almaktadır. Çamköy bölgesi jeotermal enerji açısından büyük önem arz etmekte olup bu bölgeye 2542 m. rotary yöntemiyle sondaj açılmıştır. Sondajda sondaj akışkanı olarak spud, lignosülfonat, polimer çamur türleri kullanılmış sondaj başarı ile tamamlanmıştır. Sondaj mahalinin yerleşim planı ölçeksiz bir şekilde çizilerek Şekil 1'de verilmiştir.

Çalışmanın yapıldığı saha kuzey batı Anadolu'da Biga yarımadasının batı kesiminde kuzey batı Anadolu genç volkanizmasının yaygın olarak izlendiği bir bölgedir. Bölgenin temelini metamorfik kayalar oluşturmaktadır (Karadağ metamorfik topluluğu). Bunlar başlıca fillat, mikaşist gibi metapelitler (Geyikli formasyonu), rekristalize kireçtaşı-mermerler (Sakarkaya formasyonu) ve

metabazit arakatlı metaflaş'den (Çamköy formasyonu) oluşmuştur. Birim yeşilışt fasiyesi koşullarında metamorfizmaya uğramıştır. Metamorfik topluluğun yaşı, Permo-Triyas olarak belirlenmiştir (Karacık, 1995).

tehlikeye sebep olan bu faktörleri göz önünde bulundurmak gerekir.

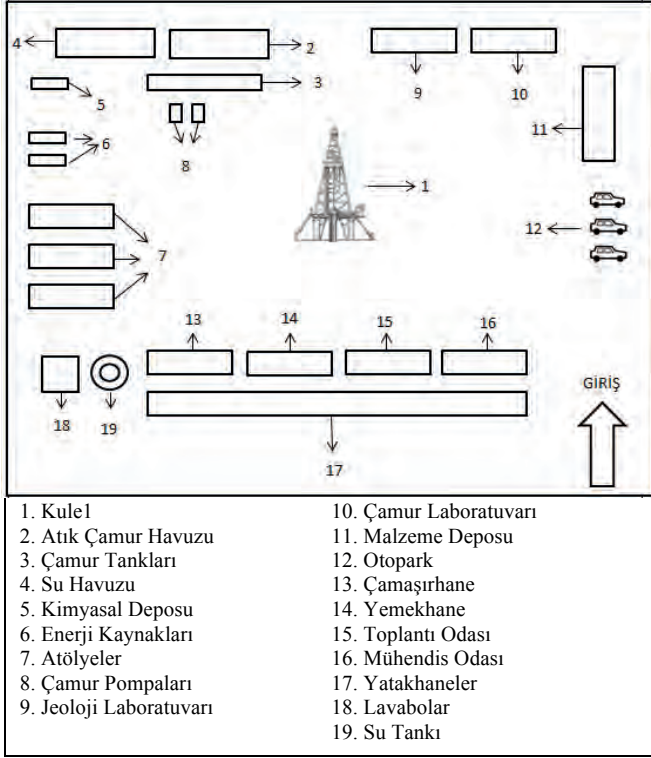
Yapılan çalışma ile Çanakkale, Çamköy sondaj sahasındaki başlıca tehlike kaynakları beş maddede sınıflandırılmış, detaylı bir şekilde açıklanarak risk analizleri gerçekleştirilmiştir.

### 3.1 Sondaj Sahasındaki Tehlike Kaynakları

Sondaj sahası sondajın yapıldığı, tankların, laboratuvarların, kulenin havuzların ve pompaların bulunduğu yer olarak adlandırılmaktadır. Bu alanda tüm sondaj sahasında karşılaşılabilecek tehlikeler detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

Sondaj sahasındaki tehlike kaynakları:

- İş güvenliği ve eğitimi almadan kuleye çıkmak,
- İş tulumu giymeden kuleye çıkmak,
- Baretsiz çıkma,
- Lokasyon ve sondaj yeri,
- Arazide sondaj yolları,
- Sondaj makinesi ve tijleri,
- Borusal malzemelerin çalışma alanında stoklanması- dizilmesi,
- Çamur pompaları ve basınç altında çalışan hortumlardan kaynaklanan kazalar,
- Yüksekten düşme,
- Sondaj makinası çalışırken mazot- yağ gibi ikmaller yapılması,
- Sabit makine ve tezgahların kullanımı,
- Hareketli erişim ekipmanları (Merdivenler, platformlar vs.),
- Mekanik kaldırma araçları,
- Ürünler, emisyonlar ve atıklar,
- Elektrik ve elektrikli aletler ile çalışma,
- Uygun olmayan duruş ve çalışma şekilleri,
- Motorlu araçların kullanımı, taşımacılık ve yollar,
- İstenmeyen insan davranışları (Dikkatsizlik, yorgunluk, aldırmazlık, anlama güçlüğü, öfke, kavga etmek vs.),



Şekil 1. Sondaj sahası yerleşim planı

## 3 SONDAJ SAHASINDA KARŞILAŞILAN TEHLİKELER

Tehlike, işçi sağlığını ve iş güvenliğini tehdit eden, insanların yaralanmasına, hastalanmasına, malın veya malzemenin hasarına, işyeri ortamının zarar görmesine sebep olabilecek kaynak veya durum olarak tanımlanmaktadır. Tehlikeli durum ise çalışma ortam şartlarındaki kazaya sebep olabilecek durumlardır.

Tehlikeli hareket, tehlikeli durumlar göz önünde bulundurulmadan yapılan hareketler olarak belirtilmiştir (TS 18001, 2008).

Tehlikeli durum ve tehlikeli hareketlerin tümüne birden tehlike faktörleri denir. Tehlike faktörleri kaza sebebi olabilecek etkenlerdir. Risk değerlendirmesi yaparken

- Yalnız çalışma,
- Giyisi düzenlemeleri ve giysi değişim odaları,
- Dinlenme ve yeme/ içme alanları,
- Arazide sondaj yolları,
- Sondaj makinesi ve tijleri, borusal malzemelerin çalışma alanında stoklanması- dizilmesi,
- Sondaj makinası kulesinde (balkon) çalışmada oluşabilecek tehlikeler,
- Tij-borusal malzeme-iç gömlek matkap taşınması, kullanılması ve kuledeki dizilmiş tijlerin yıkılması gibi nedenlerden oluşabilecek tehlikeler,
- Çamur pompaları ve basınç altında çalışan hortumlardan kaynaklanan kazalar,
- İş yerinde; sondaj motoru çamur pompaları ve takımın kuyu içinde oluşturduğu gürültü şeklinde sıralanmaktadır.

### 3.2 Sondaj Dizisinde Tehlikeler

Kulenin en önemli ve en tehlikeli olduğu düşünülen bölgesi dizi iniş ve çıkışlarıdır. Ölümcül tehlike taşıyacağı düşünülen düşme (yüksekte çalışma), patlama (püskürme), zehirli gazlar, yangın, hareketli araç ve makineler, tehlike el aletleri ve etkileridir. Bunların yanında, ağırlık kaldırma ve etkileri, gürültü, stres, tehlikeli yüzeyler, titreşim gibi birçok faktör de yapılan çalışma ile dikkate alınmıştır.

Dizi iniş ve çıkışlarında tehlike kaynakları:

- Dizi elemanları muhafazalarının sökülmesi,
- Matkabın havalı vinçle masaya alınması,
- Matkap, adaptör sub, bit sub, stabilizer ve ağırlık boruları dişlerinin temizlenmesi, yağlanması,
- Bit subın rampadan masaya alınması ve kısa ağırlık borularının birbirine bağlanması,
- Aynı bağlantının tong anahtarlarıyla tam sıkılması,
- Diziye adaptör sub bağlanması,

- Dizinin kuyuya indirilmesi,
- Kuyudaki diziye stabilizerin bağlanması,
- Ağırlık borularının rampadan havalı vinçle alınması ve diziye ağırlık borularının eklenmesi şeklinde sıralanmaktadır.

### 3.3 Çamur Operasyonlarında Tehlikeler

Çamur tankları ve karıştırıcılar, sondaj akışkanının ve gerekli kimyasalların karıştırılmak suretiyle hazırlandığı ünitelerdir. Lokasyonunun önemli bölümlerinden biri olan bu birimde, titreşim, ağırlık kaldırma ve etkileri, stres, gürültü, patlama (püskürme), yüksek basınç, tozlu ortam, düşme, elektriksel alan ve tehlikeli kimyasalların yan etkisi gibi faktörler bulunmaktadır. Çamur operasyonlarında en sık rastlanılan tehlikeler kimyasalların taşınması ve hoppera aktarılması, çamur sirkülasyonu ve çamur tanklarının yerleştirilmesi sırasında meydana gelmektedir. Çamur operasyonlarındaki tehlike kaynakları:

- Çalışanların dikkatsizliği,
- Yüksek basınçlı su,
- Eski su borusu,
- Çalışanın yük salınımında durması,
- Çamur teknisyeni dikkatsizliği,
- Yükü beline verme,
- KKD kullanmama,
- Sağlam olmayan korkuluk,
- Sağlam olmayan bağlantı yeri,
- Güvenlik bağlantıları,
- Çalışanın konumu,
- Açık ızgaralar, korkuluklar,
- Tankın halatla bağlanması,
- Tankın havada vinçle taşınması,
- Belirlenen alana yanaşılması,
- Tankın dengelenmesi,
- Tankın oturtulması,
- Çalışanın merdivenle tanka inmesi,
- Kelebek vananın açılması,
- Tank içinin temizlenmesi şeklinde sıralanmaktadır.



### 3.4 Çimento Silolarının Yerleştirilmesinde Tehlikeler

Siloların taşıyıcı araçtan alınması, yerlerine taşınması ve zemine bırakılması esnasında karşılaşılabilecek tehlikeler:

- Bağlantı aparatlarının yerinde çıkması,
- Askıdaki silonun salınımı,
- Operatörün görememesi,
- Kanca kilit sistemi,
- Manevra alanı içindeki işçi,
- Halat bağlantılarını çözme şeklinde sıralanmaktadır.

### 3.5 Casing İndirilmesinde Tehlikeler

Lokasyonunun destek bölümlerinden olan bu birimde, yerleştirilmiş olan çimento siloları, çimento kamyonu, log (kayıt) aracı ve yanındaki diğer destek donanımlar, tehlike kaynağı olarak stres, yüksek basınç, gürültü, elektriksel alan, duruş bozukluğundan kaynaklanan sorunlar, titreşim, patlama, radyoaktivite, tozlu ortamlara yol açabilmektedir.

Ekipmanların platforma alınması, ekipmanların kurulumu ve casing bağlanması sırasında karşılaşılabilecek tehlikeler:

- Casingin dikey rampaya alınması,
- Casing spinnerin elevator kollarına bağlanması,
- Drill pipe spinner sökülmesi,
- Casing elevatorünün kollarının takılması,
- Slip spiderin platforma alınması,
- Elevatör kollarının yıpranmış olması, sağlam olmayan pimler,
- Mandalın açık olması, eski sapan kullanımı,
- Kontrollerinin düzenli yapılmaması,
- Manevra yapma,
- İşçinin hortumu kavrayamaması,
- Power tongun salınım halinde olması,

- Matkabı yanlış kavrama,
- İşçinin anahtar üzerinde zıplaması,
- Havalı vinç ve elevatör problemleri,
- Tong anahtarı, power tong kullanımı şeklinde sıralanmaktadır.

## 4 RISK ANALİZİ

Yapılan çalışmada Çanakkale Çamköy ilçesinde yapılmış olan jeotermal sondaj sahasının belirlenen tehlike kaynakları tespit edilmiş ve bu tehlikelere göre risk analizleri yapılmıştır.

### 4.1 Sondaj Sahası Risk Analizi

Sondaj sahası içerisindeki tehlikeler gözlemlenmiş ve bu sahanın risk analizi yapılarak Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1’den görüleceği üzere sondaj sahasında “Kabul Edilemez Risk” grubunda bir tehlike bulunmamaktadır. Sondaj sahasında onüç adet “Dikkate Değer Risk” grubunda tehlike bulunmaktadır.

Sondaj sahasındaki risklerin giderilmesi amacıyla; kişisel koruyucu donanım kullanımının önemi iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinde anlatılarak, tehlikeli maddelere uyarı levhaları konularak, makina ve teçhizat kullanımıyla ilgili eğitimler verilerek bunların daha doğru kullanılması sağlanmış böylece oluşabilecek kazaların olasılık seviyeleri daha aşağı çekilmiştir.

### 4.2 Sondaj Dizisindeki Tehlikelerin Risk Analizi

Bu kısımda sondaj ilerleme esnasında (dizinin indirilip çıkartılması) meydana gelme ihtimali olan tehlike kaynakları belirlenmiş ve risk analizleri yapılmıştır. yapılan risk analizi Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Sondaj sahası risk analizi

TEHLİKE	ETKİ	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK DEĞERİ
Kişisel koruyucu donanım kullanmamak.	Yaralanma, cilde kimyasal teması, toz soluma ve göz ile teması, düşme, ezilme, kırılma, yüksek ısıya maruz kalma.	5	3	15
İş sağlığı ve güvenliği eğitimi almadan kuleye çıkmak.	Uyarı ve levhalara uymama, uygun duruş pozisyonunda olmama, hatalı ve riskli davranışlarda bulunma.	1	3	3
Lokasyon ve sondaj yerinde yangın çıkması.	Kimyasal madde torbaları, parlayıcı ve alev alıcı maddelerin alevlenmesi, maddi hasar.	2	4	8
Borsal malzemelerin çalışma alanında stoklanması, dizilmesi.	Çalışma alanında bulunan stok ekipmanlarına çalışan personelin takılıp düşmesi, yığın şeklindeki borsal malzemelerin dizi bozulmaları sonucu çalışanların yaralanması, ezilme, kırılma, düşme, el ve parmak kesilmeleri, vücudun bel bölgesinde kasların zarar görmesi.	3	3	9
Çamur pompaları ve basınç altında çalışan hortumlardan kaynaklanan kazalar.	Çamur hortumlarının aşırı basınç veya deformasyonu nedeniyle patlaması, akışkan fişkırması.	2	4	8
Sondaj makinası çalışırken mazot, yağ gibi ikmaller yapılması.	Yangın çıkması, döner kısımlara, aktarma organlarına temas sonucu yaralanmalar.	2	5	10
Hareketli erişim ekipmanlarından kaynaklanan kazalar, (Merdivenler, platformlar vs.).	Yüksekten düşme, yaralanma, ezilme, kırılma.	3	2	6
Mekanik kaldırma araçlarından kaynaklanan kazalar.	Halat kopması, taşınan malzemenin düşmesi veya çarpması, kaldıran aracın devrilmesi.	2	4	8
Elektrik ve elektrikli aletler ile çalışma.	Elektrik akımına kapılma gerilimden etkilenme, yangın.	3	5	15
Uygun olmayan duruş ve çalışma şekilleri.	Fizyolojik rahatsızlıklar.	5	3	15
İstenmeyen davranışlar.	Dikkatsizlik, yorgunluk, aldırma, anlama güçlüğü, öfke.	5	2	10
Taşıtlarında meydana gelen kazalar.	Normal ve yağışlı havalarda araç kazaları, yaralanma.	3	3	9
Sondaj makinesinin çalışma esnasında oluşabilecek tehlikeler.	Kulede çalışanların yüksekten düşmesi, elinden anahtar ve taşıyıcı başlıkların düşürülmesi, kuleye iniş çıkışlarda oluşabilecek ayak kaymaları sonucu oluşan kazalar, cilde akışkan teması, düşme, yaralanma.	3	4	12
İş yerinde; sondaj motoru, çamur pompaları ve takımın kuyu içinde oluşturduğu gürültü.	İşitme kaybı, çalışanın dikkat ve reaksiyon kapasitesinin azalması, merkezi sinir sistem bozuklukları.	4	3	12

Çizelge 2’den görüldüğü üzere sondaj dizisi çalışırken görülen “Dikkate Değer Risk” dört adettir. Sondaj dizisi risklerinin giderilmesi amacıyla; dizi elemanlarının sürekli kontrolü, kimyasal maddeler kullanırken mutlaka eldiven takılması, takım çalışmalarında koordinasyonun sağlanması

çalışmalarıyla bu risk grubundaki tehlikelerin olasılık dereceleri daha aşağılara çekilmiş ve risk değerlerinin azalması sağlanmıştır.

Sondaj sahasında “Kabul Edilemez Risk” grubunda bir tehlike bulunmamaktadır.

## Çizelge 2. Sondaj dizisi risk analizi

TEHLİKE	ETKİ	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK DEĞERİ
Dizi elemanları muhafazalarının sökülmesi.	Kırık, ezilme,yaralanma.	3	2	6
Dizi elemanlarının bağlantı dişlerinin temizlenmesi, yağlanması.	Cildin yağa maruz kalması, tahriş olması.	2	2	4
Tong anahtarlarıyla sıkma.	Kırık, ezilme, yaralanma, el sıkışması.	2	4	8
Dizi elemanları ilavesi	Kırık, ezilme, yaralanma, çarpma, el sıkışması.	4	3	12
Dizinin kuyuya indirilmesi.	El veya parmak kesilmeleri, el sıkışması.	3	3	9
Dizi elemanlarının rampadan havalı vinçle masaya alınması ve diziyeye eklenmesi.	Ayak yaralanması, ezilme, kırık halat kopması, taşınan malzemenin çarpması, el veya parmak sıkışması.	2	4	8

### 4.3 Çamur Operasyonlarındaki Tehlikelerin Risk Analizi

Bu kısımda bir sondaj operasyonunun önemli işlemlerinden olan çamur operasyonu

esnasındaki tehlikelerin risk analizleri yapılmıştır. Çamur operasyonlarında en büyük tehlike tankları ve karıştırıcılardan kaynaklanmaktadır. Yapılan risk analizleri Çizelge 3’te verilmiştir.

## Çizelge 3. Çamur operasyonundaki tehlikelerin risk analizi

TEHLİKE	ETKİ	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK DEĞERİ
Çalışanların dikkatsizliği.	Cildin çamurla teması,göze çamur kaçması, takılıp düşme, kimyasallara maruz kalma, toza maruz kalma.	4	3	12
Yüksek basınçlı akışkan.	Cildin tahriş olması, basınçla fişkıran akışkanın göze teması.	2	4	8
Çalışanın yük salınımında durması.	Çarpma, yaralanma, ezilme, kırılma.	3	3	9
Kişisel koruyucu donanım kullanmama.	Yaralanma, cilde kimyasal teması, tozun solunması ve göz ile teması, ısıya maruz kalma.	4	3	12
Sağlam olmayan korkuluk	Düşme, yaralanma, kırılma, travma.	2	4	8
Açık ızgaralar, korkuluklar.	Düşme, ayak kırılması, yaralanma.	2	4	8
Tankın havada vinçle taşınması.	Halat kopması, taşınan malzemenin düşmesi veya çarpması, kaldıran aracın devrilmesi, ezilme.	2	4	8
Çalışanın merdivenle tanka inmesi.	Düşme, ayak kayması, yaralanma, elektrik kaçağı.	3	3	9
Tank içinin temizlenmesi.	Kimyasala maruz kalma, toz soluma, cildin kimyasal ile teması, düşme, elektrik kaçağı.	3	4	12

Çizelge 3’den görüldüğü üzere sondaj dizisi çalışırken görülen “Dikkate Değer Risk” dokuz adettir. Çamur operasyonlarındaki risklerin azaltılması

amacıyla; çalışma ortamının rutin kontrolleri sürekli ve düzenli bir sistemle yapılarak tehlike arz eden arızalar düzeltilmiştir. İş sağlığı ve güvenliği tatbikatları yapılarak

olası bir kaza durumunda hazırlıklı olunması ve böylece en az hasarla atlatılması sağlanmıştır. Yapılan bu çalışmalarla risk grubundaki tehlikelerin olasılık dereceleri daha aşağılara çekilmiş ve risk değerlerinin azalması sağlanmıştır.

Sondaj sahasında “Kabul Edilemez Risk” grubunda bir tehlike bulunmamaktadır.

#### 4.4 Çimento Silolarının Yerleştirilmesindeki Tehlikelerin Risk Analizi

Bu kısımda sondaj ilerleme esnasında yaşanan sıkıntıları bertaraf etme ve casing ile kuyu cidarlarını arasında kalan kısmı çimentolama operasyonları için kullanılan çimentolama silolarının yerleştirilmesinde yaşanabilecek tehlikeler belirlenmiş ve risk

analizleri yapılmıştır. Yapılan risk analizi Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4’den görüldüğü üzere sondaj dizisi çalışırken görülen “Dikkate Değer Risk” altı adettir. Çimento silolarının yerleştirilmesindeki risklerin azaltılması amacıyla; çimentolama esnasında dikkat gerektiren operasyonlarda çalışanlar için iş planı hazırlanmıştır. Çalışanın iş gücünü aşmayan görevlendirmeler yapılmış ve bu tür operasyonlar mümkün olduğunca gündüz vardiyasına alınmıştır. Yapılan bu çalışmalarla risk grubundaki tehlikelerin olasılık dereceleri daha aşağılara çekilmiş ve risk değerlerinin azalması sağlanmıştır.

Sondaj sahasında “Kabul Edilemez Risk” grubunda bir tehlike bulunmamaktadır.

Çizelge 4. Çimento silolarının yerleştirilmesindeki tehlikelerin risk analizi

TEHLİKE	ETKİ	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK DEĞERİ
Bağlantı aparatları.	El ve parmak sıkışması yaralanma, kırılma.	3	3	9
Askıdaki silonun salınımı.	Çarpma,yaralanma, maddi hasar.	4	3	12
Operatörün görememesi.	Çarpma, silonun kancadan çıkması, maddi hasar.	4	2	8
Kanca kilit sistemi.	Silonun kancadan çıkması.	2	3	6
İşçinin silodan düşmesi.	Kırılma,yaralanma, travma.	3	3	9
Halat bağlantılarını çözme	El ve parmak sıkışması, Halat kopması.	4	3	12

#### 4.5 Casing Operasyonlarındaki Tehlikelerin Risk Analizi

Casing operasyonu, sondajda çap düşüleceği zaman kuyuyu sağlama almak için yapılan kuyu borulama işleminin genel adıdır. Bu operasyonlar esnasında yaşanabilecek tehlikelerin risk analizleri yapılarak Çizelge 5’te verilmiştir. Çizelge 5’den görüldüğü üzere sondaj dizisi çalışırken görülen “Dikkate Değer Risk” beş adettir. Casing operasyonlarındaki risklerin azaltılması

amacıyla; makina ve teçhizatın sürekli ve düzenli bakımı sağlanarak eski, arızalı veya tehlike oluşturabilecek ekipmanların kullanılması minimize edilmiştir. Ayrıca makina kullanımıyla ilgili eğitimler verilerek, doğru kişisel koruyucu donanımının kullanılması sağlanarak bu risk grubundaki tehlikelerin olasılık dereceleri daha aşağılara çekilmiş ve risk değerlerinin azalması sağlanmıştır.

Sondaj sahasında “Kabul Edilemez Risk” grubunda bir tehlike bulunmamaktadır.

## Çizelge 5. Casing operasyonundaki tehlikelerin risk analizi

TEHLİKE	ETKİ	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK DEĞERİ
Casing'in dikey rampaya alınması.	Elevatörün düşmesi, yaralanma, el veya parmak sıkışması, takılıp düşme, işçiye çarpma, ayağa düşme.	3	4	12
Casing elevatörünün kollarının takılması.	El veya parmak sıkışması, ezilme, yaralanma.	2	3	6
Slip spiderin platforma alınması.	Çatlak, yaralanma, ezilme.	1	3	3
Elevatör kollarının yıpranmış olması ve sağlam olmayan pimler.	Çarpma, travma, yaralanma.	2	4	8
Power tongun salınım halinde olması.	Çarpma, yaralama.	2	4	8
Tong anahtarı ve power tong kullanımı.	El sıkışması, yaralanma, çarpma.	2	4	8

## 5 SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, Çanakkale Çamköy formasyonunda yapılan bir jeotermal sondaj sahasının iş sağlığı ve işçi güvenliği açısından incelenerek risk analizi yapılmıştır. Sondaj sahasındaki tehlike oluşturabilecek operasyonlar beş gruba indirgenmiş ve tüm tehlike kaynakları detayli bir şekilde belirlenmiştir. Sonrasında bu tehlike kaynaklarının risk analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sahada “Kabul Edilemez Risk” grubunda bir tehlike bulunmamaktadır. Ancak “Dikkate Değer Risk” grubunda çok sayıda tehlike bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar ile bu gruptaki tehlikelerin olasılık seviyelerinde azalmalar meydana getirilmiştir.

## 6 KAYNAKLAR

- Anonim, 2012. Detam İş Sağlığı ve Güvenliği El Kitabı, 265 s., Ankara.
- Bhagwati, K. 2006. Managing Safety. *Wiley*, 256 p., Weinheim.
- <http://www.ilo.org/ankara/lang--tr/index.htm>
- Karacık, Z 1995. Ezine-Ayvacık (Çanakkale) dolayında genç volkanizma plütonizma ilişkileri, *İTÜ, Maden Fakültesi*, İstanbul.

- Kuyucu, E. 2008. İnşaat Projelerinde Risk Analizi Yöntemleri: Bir Petrokimya Fabrikasında Uygulanması., *9 Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı*, 110s., İzmir
- Özkılıç, Ö. 2005. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri. *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş teftiş Kurulu İstanbul Grup başkanlığı*, İstanbul.
- Sipahi, İ, 2006, İş Sağlığı ve Güvenliği'nde Eğitimin Önemi, *İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 30, 24-27.
- TS 18001, 2008. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri – Şartlar, Ankara.

# Eynez Kömür Sahası Koşulları ve Gelecekte Güvenli Madencilik İçin Yapılması Gerekenler

## *Properties of Eynez Coal Field and Actions to be Taken for Safe Mining in the Future*

B. Ünver, M. A. Hindistan

*Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, Turkey*

**ÖZET** Bu bildiride, Eynez kömür sahasıyla ilgili kısa bilgiler verildikten sonra, sahanın kendine has özellikleri çerçevesinde gelecekte güvenli bir madencilik için yapılması gereken bilimsel araştırmalar gerekçeleriyle birlikte sunulmaktadır. Eynez sahası; tavan yapısı, taban taşı ve kömür damarı özellikleri açısından dünyadaki diğer sahalardan önemli oranda farklılıklar göstermektedir. Tavan taşı göreceli olarak yekpare, kalın ve güçlü bir yapıya sahip olması sebebiyle düzenli ve kolay göçmeme karakteristiğine sahiptir. Buna ek olarak; metan varlığı, kömür damarının kendiliğinden yanmaya yatkınlığı ve üretimde uygulanan çok katlı göçertmeli uzun ayak yöntemi de sahaya ait önemli karakteristik özelliklerdir. Gelecekte Eynez kömür sahasında verimli ve güvenli bir üretim faaliyeti için bu bildiride önerilen konularda ayrıntılı bir bilimsel çalışma programının uygulanmasına ihtiyaç vardır.

**ABSTRACT** In this paper, following a brief information about Eynez coal field, scientific researches to be done by considering inherent field characteristics to maintain a safe mining in the future are proposed. In terms of its roof, floor and seam characteristics, Eynez field is different from the other sites in the world. The roof impose caving problems because of its relatively massive, thick and strong structure. In addition, methane presence, susceptibility of coal to spontaneous combustion and multi level longwall with top coal caving method applied for production are also important specific characteristics of the site. Therefore a detailed scientific research program as proposed in this paper must be put forward for a safe and efficient production in the future at Eynez coal field.

## 1 GİRİŞ

Eynez sahasında yaklaşık 25 m kalınlığında bir kömür damarı bulunmaktadır. Damarın tabanı yumuşak kil olmasına rağmen tavan tabakası ciddi göçme sorunları yaratan masif ve güçlü bir yapıdadır. Kalın kömür damarı sebebiyle üretimde çok katlı göçertmeli uzun ayak yöntemi kullanılmaktadır.

Kömür ve çevreleyen katmanlar, özellikle tavan taşı, önemli miktarda metan gazı içermektedir. Buna ilave olarak kömür kendiliğinden yanmaya yatkın bir yapıdadır. İleri zamanlarda üretilecek olan kömür, daha

derinlerde olup, ölçülmemiş olmasına rağmen metan gazı oranının daha yüksek olduğu arama faaliyetleri sırasındaki gözlemlerden bilinmektedir. Nitekim, bölgedeki metan gazı varlığı, derin kısımlardaki üretim faaliyetlerinde sorun yaratmaya başlamıştır. Bu yüzden, gelecekte üretim yapılacak alanlarda derinliğe bağlı artan gerilmelerden ve metan gazı oranından dolayı kömür üretimi daha da zorlaşacaktır. Ayrıca, kömürün kendiliğinden yanmaya olan yatkınlığı üretimi kesinlikle daha karmaşık hale getirecektir.

## 2 SAHA HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Kömürün miktarı ve kalitesi bakımından Soma Türkiye'deki en önemli linyit havzalarından biridir. Soma havzasının büyük bir bölümünü Eynez sahası oluşturmaktadır. Eynez sahasının TKİ'ye ait ruhsat alanında yaklaşık 426 milyon ton kömür kaynağı tespit edilmiştir. Kömür üretimine ait sınırlı miktardaki kayıtlar 150 yıl öncesine kadar dayanmakta olsa da, Soma havzasındaki sistematik üretim 1939 yılından itibaren devam etmektedir. Sahada ağırlıklı olarak açık ocak yöntemi uygulanmıştır. Yıllarca yer altından düşük miktarlarda üretim yapıldıktan sonra yaklaşık son 10 yıl içerisinde üretim miktarı istikrarlı bir şekilde artarak yıllık 9 Mt civarına yükselmiştir.

Ana kömür damarı olan KM2 miyosen yaşlı olup yaklaşık 25 m kalınlığındadır. Damar eğim yönü genel olarak GB istikametinde olup eğim ortalama 12 derece civarındadır.

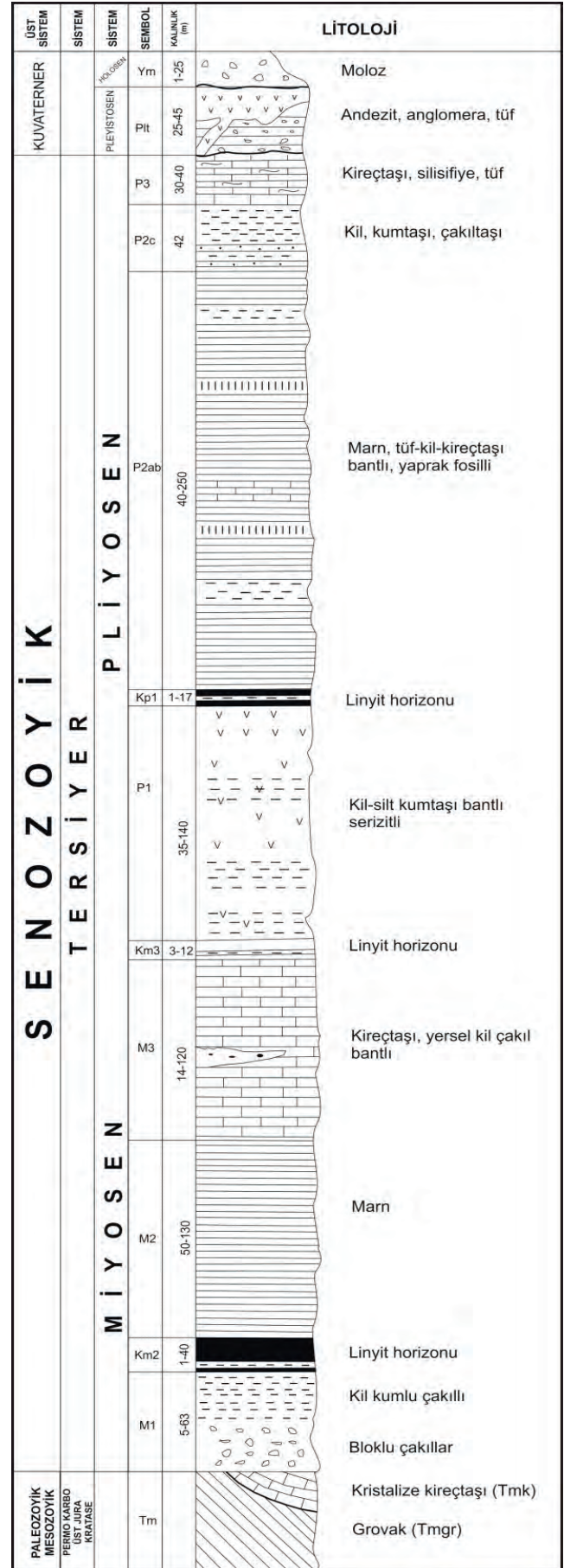
Eynez sahasına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit Şekil 1'de verilmektedir. Kömür damarlarını da içeren değişik birimler bulunmaktadır. Sahada bulunan birimler yukarıdan aşağıya doğru şu şekilde sıralanmaktadır.

- Pliyosen yaşlı kumtaşı-silt-kil aralanması (P1)
- Orta linyit horizonu (KM3, Yer altı yöntemiyle üretilmiyor)
- Kireçtaşı (M3)
- Marn (M2)
- Alt linyit horizonu (KM2, üretilen ana damar)
- Kil (M1)
- Temel: Kristalize kireçtaşı – grovak

## 3 SAHA ÖZELLİKLERİ

Kömür damarı faylanmadan dolayı parçalara ayrılmıştır. Şekil 2'de 3B modelin plan ve izometrik görüntüsü verilmektedir. Bu şekilden açıkça görüldüğü üzere kömür damarı çok sayıda fayla bloklara ayrılmıştır. Bu bloklara göre TKİ ruhsat alanındaki kömür kaynağı miktarı 426 Mton olarak hesaplanmıştır. Ortalama Alt Isıl Değer (AID), ağırlıkça kül ve nem içerikleri

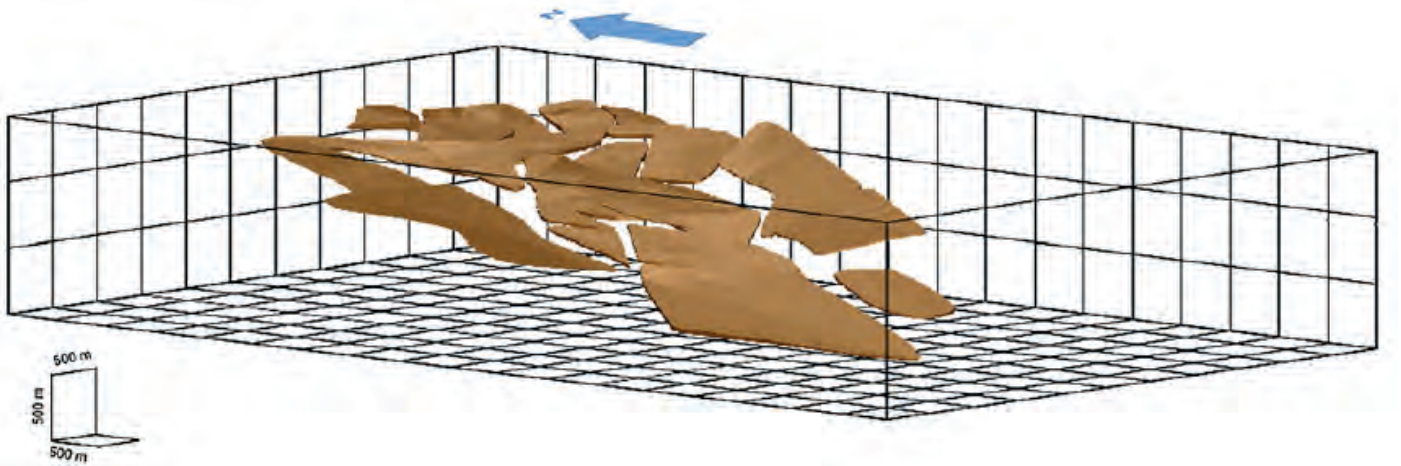
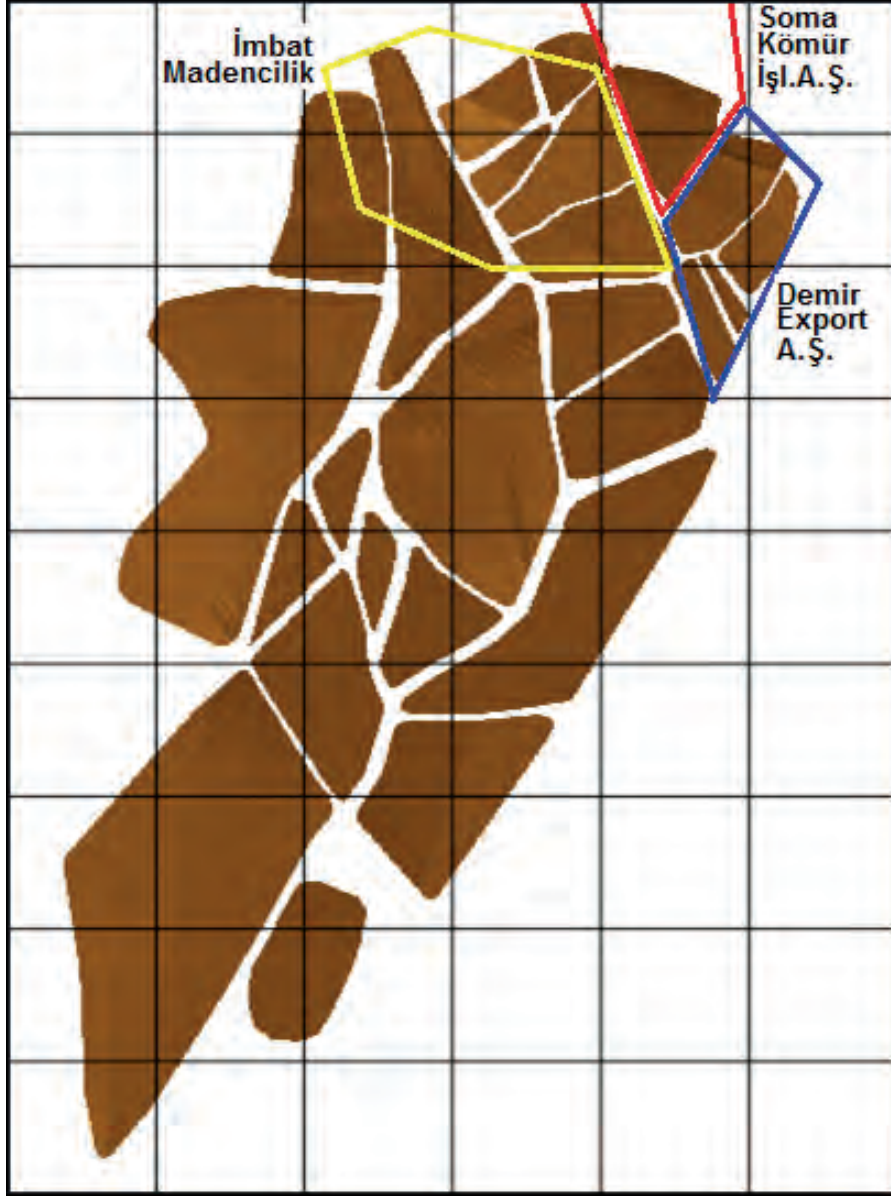
sırasıyla 3187 kcal/kg, %34 ve %14 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Eynez sahasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Nebert 1978).

Kömür damarı GB'ya doğru derinleşerek hazırlık aşamasında olan özel bir işletme sahasına kadar uzanmaktadır. Bitişik

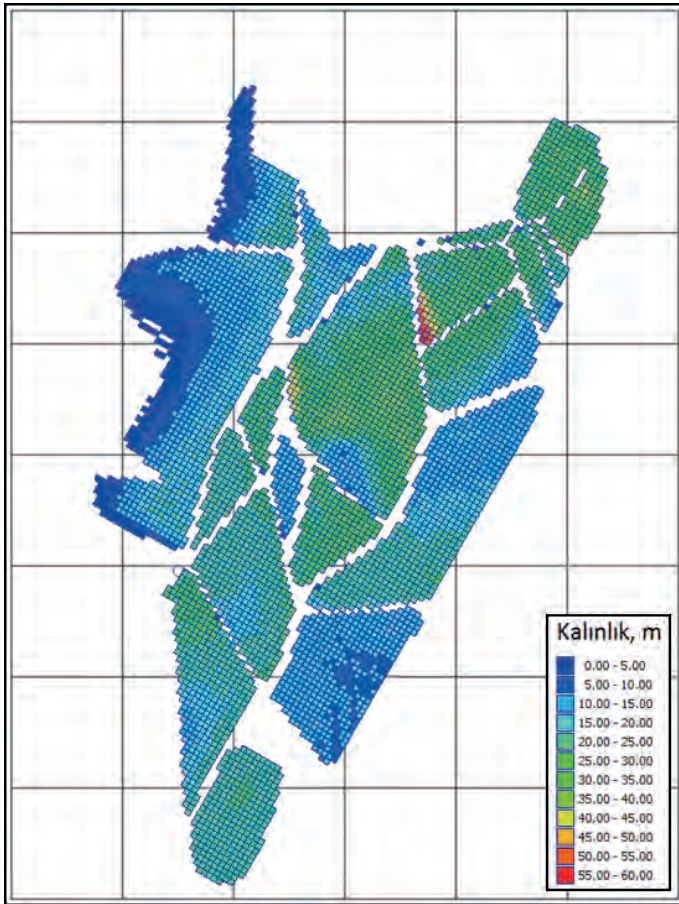
sahadaki kömür kaynağının yaklaşık 200 Mton olduğu söylenmektedir.



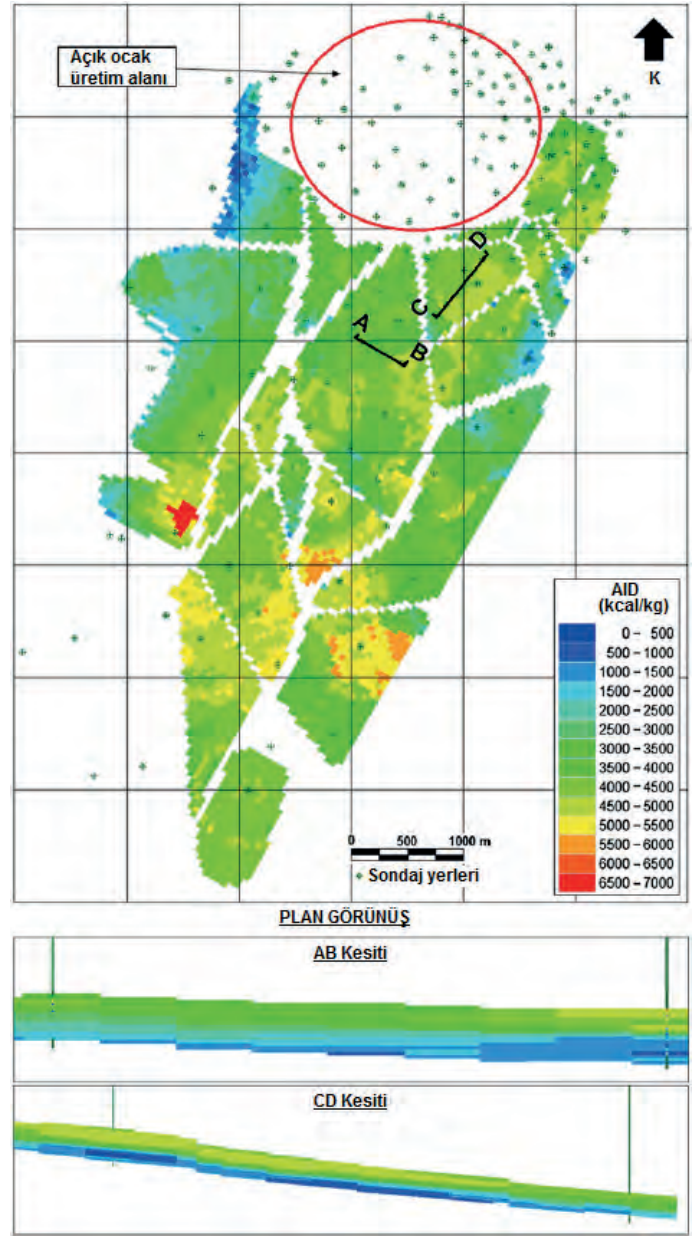
Şekil 2. Eynesiz sahasında faylarla ayrılmış kömür bloklarının (üstte) plan, ve (altta) izometrik görüntüleri (Ünver vd. 2011; Tercan vd. 2013).



Kömür damarı kalınlık dağılım haritası Şekil 3'te gösterilmektedir. Ortalama kömür kalınlığı yaklaşık 25 m olmasına rağmen sahanın bazı kısımlarında kalınlık 60 m'ye kadar çıkmaktadır. Kömür oluşumuna bağlı olarak beklendiği üzere kömür kalınlığının saha kenarlarında azaldığı sahanın orta kısımlarında arttığı görülmektedir. Şekil 4'de ise kömür kalitesi (AID) dağılım haritası verilmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4 dikkatlice incelendiğinde modelin açık ocak alanını içermediği görülecektir. TKİ sahanın kuzey kısmının başta açık ocak yöntemiyle üretilmesini planlamıştır. Bu yüzden açık ocak yöntemiyle üretilecek kısım blok modelden çıkarılmıştır. Ancak, daha sonra TKİ bu kısımdaki kömürün de yer altı üretim yöntemiyle çıkarılmasına karar vermiştir.



Şekil 3. Eynez sahası kömür kalınlık haritası (Tercan vd. 2013).



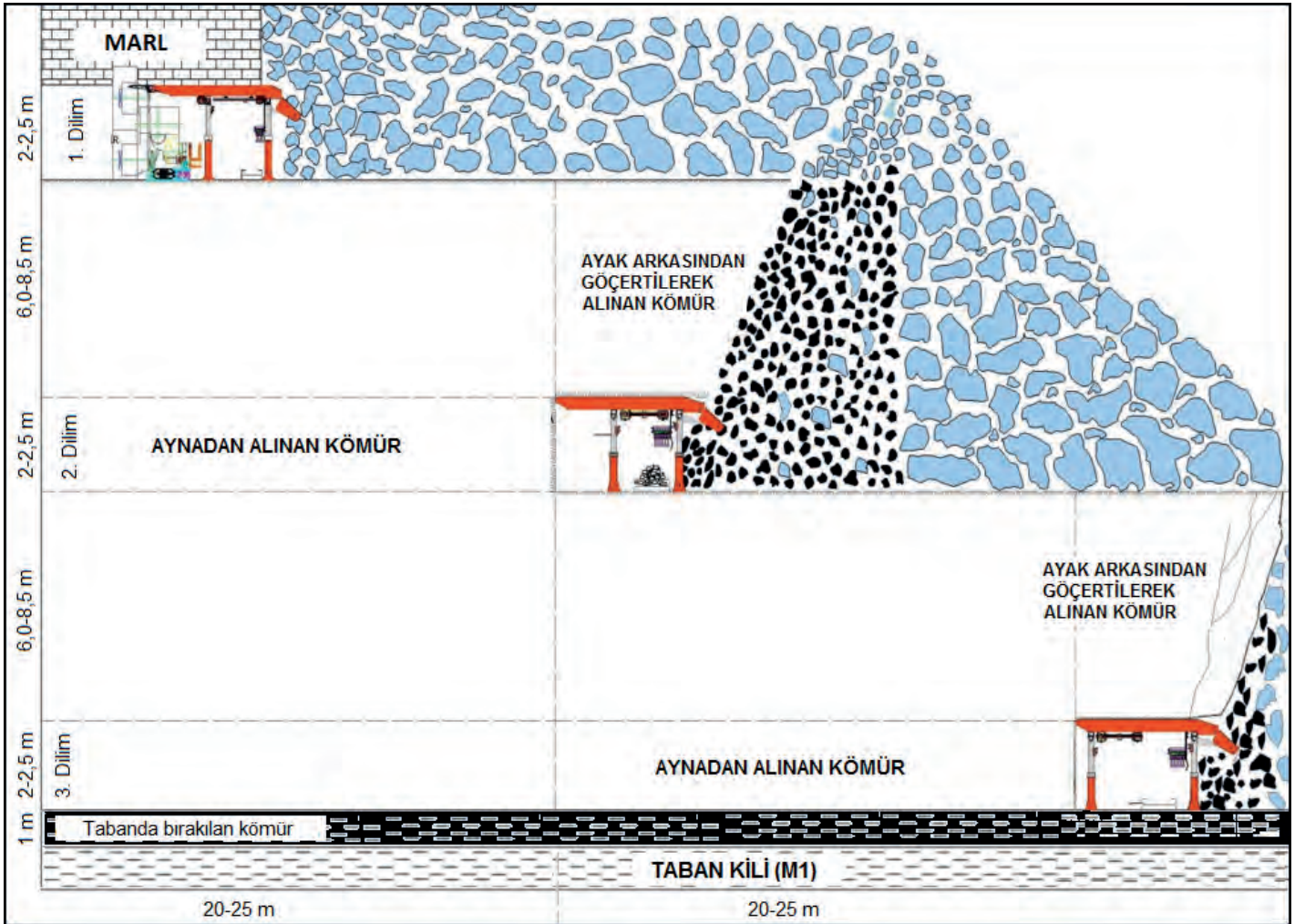
Şekil 4. Eynez sahası kömür damarının Alt Isıl Değer (AID) dağılım haritası (Tercan vd. 2013).

#### 4 ÜRETİMİ VE GÜVENLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Soma Eynez sahasında uzun yıllardır kömür üretimi yapılmaktadır. Bu amaçla hem yer altı hem de yerüstü üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Uzun yıllardır çalışılan bir saha olması nedeniyle tavan taşının yapısı, kömürün özellikleri, taban kilinin karakteristiği genel anlamda bilinmektedir. Yapılan farklı uygulamalar ve üretim faaliyetleri süresince elde edilen deneyimler sonucunda ileride uygulanması düşünülen üretim yöntemi ve stratejilerinin nasıl olması gerektiği konusunda önemli bir bilgi birikimi oluşmuştur.

Eynez sahasında genel anlamda uygulanan ara katlı arka göçertmeli uzun ayak yönteminin kesit görüntüsü Şekil 5'te verilmektedir. Kömür damarının kalın damar sınıfına girmesi üretimle ilgili seçenekleri artırmakta ve bir anlamda üretim faaliyetlerini ince damar kömür üretimine kıyasla daha karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle, seçilecek olan üretim yönteminin riski en aza indirecek nitelikte olması zorunludur. Eynez sahası için yapılan ocak planlaması ve tasarımında bazı önemli noktalar dikkate alınmaktadır. Ocak planlaması ve buna bağlı olarak üretim yöntemi seçiminde dikkate alınması gereken temel parametreler aşağıda liste halinde sunulmaktadır (Ünver 1995a, 1995b, 1996, 1997, 2014; Ünver vd. 2015; Tercan vd. 2013,);

- Damar özellikleri; kalınlık, dayanım, göçebilirlik, göçertilerek alınan kömürün akması ve damar dalımı gibi
- Tavan taşının yapısı ve özellikleri; dayanım, göçebilirlik, göçme ve sıkışma sonrası karakteristiği, geçirgenlik, vb.
- Kendiliğinden yanma riski, önlenmesi ve maden yangınlarıyla mücadele
- Taban kili özellikleri ve su bulunması durumundaki mekanik davranışlarının bozulma hızı
- Kömürün ve yan kayaçların metan gazı içerikleri
- Üretim miktarı ve hızı
- Göçükte bırakılan kömür miktarı ve tüvenan kömürde seyrelme oranı
- Hazırlık galerilerinin konumları
- Koruyucu topuk tasarımı



Şekil 5. Eynez sahasında uygulanan ara katlı arka göçertmeli uzun ayak yönteminin kesit görüntüsü (Ünver vd. 2015).

#### 4.1 Damar Kalınlığının ve Özelliklerinin Etkisi

Yapılan katı model özelliklerine göre, sahadaki kömür damarı kalınlığı 1,8-62 m arasındadır. Kalınlığın değişken olması seçilecek üretim stratejisini önemli ölçüde etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sahada üretim temel itibarıyla dilimli ve tavan kömürünün ayak arkasından göçertilmesi suretiyle yapılmaktadır (Şekil 5). Mekanize ayaklarda aynada tamburlu kesici, klasik ayaklarda ise delme patlatma suretiyle kömür kazılmaktadır. Tavan kömürü göçertmeli (top coal caving) yöntemde üretimin en kritik aşaması tavan kömürünün göçertilerek ayak arkasından kazanılmasıdır (Ünver 1996, 1997). Diğer bir ifadeyle, aynadaki kömürün kazılması genel itibarıyla sorun yaratır nitelikte değildir ve yöntemin verimli ve güvenli bir şekilde uygulanabilmesi büyük ölçüde tavan kömürünün göçertilerek üretilmesine bağlıdır. Ayna kesimi bir kaç saat içerisinde tamamlanabilmekte ve geri kalan sürenin tamamı arka kömürünün alınması ve ayağın yeni bir ayna kesimine uygun hale getirilmesi için harcanmaktadır (Ünver vd. 1991). Tavan kömürünün üretilmesi sırasında hem üretilen kömüre tavan taşı karışarak kömürü seyreltmekte hem de ayak arkasında önemli bir miktarda kömür alınmadan heba olmaktadır. Yapılan işin doğası gereği ne tavan taşının üretilen kömüre hiç karışmadığı, ne de ayak arkasında hiç kömür bırakılmadığı bir yöntem olabilir. Ancak, bu seyrelme ve kayıpların en az düzeyde olmasını sağlamak gerekmektedir.

Ayak arkasından göçertilen kömürün kazanılma verimi tavan diliminde bulunan kömürün düzenli bir şekilde akması ile sağlanabilir. Bu da tavan kömürünün olabildiğince homojen bir tane boyunda olması ile sağlanabilir (Yaşitli ve Ünver 2004, 2005a, 2005b; Ünver ve Yaşitli 2006). Üretimin en az kömür kaybıyla yapılabilmesi için göçertilen tavan kömürünün üretim öncesinde zayıflatılması şeklinde bir şartlandırma yapılmalıdır. Kömür damarı, farklı özelliklere sahip damarlardan oluştuğu

için her kısmın dayanımı farklı olabilmektedir. Eyzeh sahasında kömür damar yapısı incelendiğinde kömür kalitesinin damar tavanından tabanına doğru azaldığı ve kömür kül içeriğinin arttığı görülmektedir. Kömür içerisinde bulunan kil yüzdesinin artmasıyla dayanım düşmektedir. Kömür damar dayanımının değişken olması tavan kömürünün göçme özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Ayrıca kömür damarının tavana yakın kısımlarında oldukça yüksek dayanıma sahip sileks bandı bulunmaktadır. Sonuç olarak, tavan kömürünün kolay akmasını teminen göçertme öncesi damar içerisinde göçmeyi zorlaştıran kısımların yapay şekilde (gevşetme patlatması benzeri) zayıflatılması gereklidir. Bu sayede tavan kömürünün daha kolay akması sağlanarak üretim hızı ve verimi önemli oranlarda iyileştirilmelidir. Tavan kömürünün göçme mekanizması ve önerilen uygulama ile ilgili ayrıntılar literatürde bulunabilir (Ünver 1997; Yaşitli ve Ünver 2004, 2005a, 2005b; Ünver ve Yaşitli 2006).

#### 4.2 Tavan Taşının Yapısı ve Göçme Davranışı

KM2 damarı tavanında M2 marnları ve daha üstte de M3 kireçtaşları bulunmaktadır. M2 marnlarının kalınlığı 80 m civarındadır. M2 marnları üzerinde bulunan M3 kireçtaşları ise yaklaşık 90 metredir. Hem M2 marnı hem de M3 kireçtaşı tabakaları kalın ve sağlam bir yapıdadır. İki tabaka da göçme işlemi sırasında önemli sıkıntılar yaratmaktadır. Netice olarak, göçertmeli üretim yöntemi kullanılması sırasında M2 ve M3 tabakalarının masif, sağlam olması, az ya da çok gevrek karakteristikte olması ciddi göçme problemlerine sebep olmaktadır. Üretim sonrası yüzeyde gözlenen tasman dünyadaki diğer madenlerle kıyaslandığında tasman çökme oranı önemli derecede düşük kalmaktadır. Karanlıkdere ocağıyla neredeyse aynı yapısal özelliklere sahip komşu İmbat ocağının D1 ve D2 panoları üzerinde zamana bağlı tasman ölçümleri yapılmıştır. D1 ve D2 panolarından çıkarılan damar kalınlığı sırasıyla 29 ve 32 metredir.

Sahada üretimin tamamlanmasıyla yapılan ölçümde en yüksek tasman miktarı 4,6 metre olarak kayıt edilmiştir. Üretimin bitiminden 750 gün sonra yapılan ölçümde ise en büyük tasman miktarı 7,25 metre olarak ölçülmüştür (Aksoy vd. 2016). Buna bağlı olarak, üretim sonrası ve üretimden 750 gün sonra oluşan tasman faktörü 0,15 ve 0,23 olarak hesaplanabilir. Bu, dünyada ölçülen oranlara göre oldukça düşük bir orandır. Dahası, yüzeyde devam eden üretim sonrası oturma tavan tabakasındaki zamana bağlı devam eden göçme mekanizmasına işaret etmektedir.

### 4.3 Taban Kili Özelliklerinin Etkisi

Damar tabanında yer yer kalınlığı önemli miktarlara ulaşan M1 kili bulunmaktadır. Taban kili M1 düşük sağlamlıktadır. Mekanik özellikleri sudan çok etkilenmektedir. M1 kili tabakasına yakın son dilimin üretimi sırasında bölgede su olması çok yaygın bir durumdur. Üst dilimlerin üretimi sırasında hidrolik dolgu yöntemi uygulanmaktadır. Bu nedenle, yer altı suyuna ek olarak arka dolgusu yapılan göçükten bir miktar su süzülerek en alt ayağa ulaşabilir. Bu nedenle M1 kili kantağı üzerindeki kömürden en az 1 metre kalınlığında bir miktar topuk olarak bırakılmalıdır. Tabanda bulunan M1 kilinin plastik özellik göstermesi nedeniyle ayak içi mekanize tahkimat ünitelerinin ağırlığını taşıması oldukça zordur. Özellikle üretim hızını arttırmak için farklı üretim metodları çalışılmalıdır. Bölgede damar tabanı kantağına yerleştirilen ve tam mekanize üretim yapan bir uzun ayak henüz uygulanmamıştır. Bu nedenle böyle bir uygulamada karşılaşılabilecek zorluklar deneyimlenmemiştir. Eynez sahası için güvenli ve mekanize bir üretim sistemi uygulanmasını sağlayan yeni bir üretim yöntemi tartışmaya açılmıştır (Ünver vd. 2015).

İşletme sırasında kaçınılmaz olarak ortamda su bulunacağı gerçeğinden hareketle taban kilinin plastik özelliğe sahip olması önemli sorunların oluşmasına neden olacaktır. Bu nedenle kömür damarının taban

taşı kantağında en az 1 m'lik kısmın alınmadan bırakılması gerekecektir. Diğer taraftan damar tabanında oluşturulacak olan son dilimin üretilmesi sorunlu olacaktır.

### 4.4 Metan Gazı Gelirinin Etkisi

Eynez sahasında projelendirilen derin kısımlarda metan gazı gelirinin olacağı bilinmektedir. Metan gelirinin hangi seviyelerde olacağını eldeki bilgiler ışığında tam olarak söylemek olanaksızdır. Proje uygulanmadan önce mutlaka kömür damarı ve yan kayaçların metan içerikleri belirlenmek zorundadır. Kalori, kül ve nem dağılımları gibi metan dağılım haritaları da çıkarılmalıdır. Halen yer altı üretimi devam eden ocaklarda yapılan çalışmalarda önemli miktarlarda metan gelirinin olduğu tespit edilmiştir. Bu ocaklarda yapılmış olan çalışmalardan elde edilen bilgiler ışığında metan drenajı yapılmadan ocaktan kömür üretimi yapılmasının riskler taşıdığı söylenebilir. Bu nedenle, üretim öncesi kömür içerisinde bulunan metanın mutlaka drene edilerek riskin azaltılması gerektiği uzun sayılabilecek bir süredir vurgulanmaktadır (Ünver vd. 2011). Kömür ve/veya yan kayaçtan metan gelirinin olması kesin olduğundan hareketle ocak havalandırmasının en güvenli şekilde yapılması zorunludur. Bu nedenle, ocak planlanırken metan içerecek havanın düz veya başyukarı hareket etmesi prensibi benimsenmelidir. Metan havadan daha hafif olduğu için hava dönüş yolunda metan içerecek olan hava mutlaka düz veya yukarı gidecek şekilde planlanmalıdır.

### 4.5 Hazırlık Galerilerinin Konumları

Normal şartlarda kömür ocaklarında tüm hazırlık galerilerinin taban taşında sürülmesi tasman etkisinin en aza indirilmesi açısından tercih edilir. Eynez sahasında taban taşı oldukça yumuşak özellikli kiltastır. Sahanın doğu kısımlarında M1 kili kalınlığı az olmakla birlikte batı tarafında oldukça fazladır. Bu nedenle, genel itibarıyla hazırlık galerilerinin tavan taşında sürülmesi, madencilik geleneklerine göre tercih edilen

bir yöntem olmamakla birlikte, Eynez sahasında bu bir zorunluluktur. Her ne kadar ana galeriler göreceli olarak güçlü M2 marn içinde açılrsa da, yolların tahkimatı pasif tahkimat stratejisiyle sağlanmaktadır. Demir bağlar ve ahşap kamalar yan kayacın gevşemesine izin vererek zamanla doğal sağlamlığını kaybetmesine yol açar. Bu bölgeler için genel olarak kaya saptamaları ve ince bir püskürtme beton kullanımı kesinlikle daha iyi bir tahkimat stratejisi olacaktır. Daha zayıf bölgelerde belki demir bağlar kaya saptamalarıyla birlikte kullanılabilir. Böylece, ana galerilerin etkin tahkimatı sayesinde daha az tadilat işi gerekeceğinden, deformasyon kesinlikle azalacaktır.

#### 4.6 Kendiliğinden Tutuşma Riski ve Yangınla Mücadele Yöntemleri

Eynez sahasında yapılmakta olan üretim çalışmaları sırasında bir çok ocak yangını ile karşılaşmıştır. Buradan kömürün kendiliğinden tutuşma riskinin yüksek olduğu sonucuna kolaylıkla varılabilir. Her ne kadar metan sorunu derinlerdeki kömürün üretimine yeni başlanmasından ötürü son yıllarda ortaya çıkmış olsa da maden yangınları geçmişte de her zaman önemli bir sorun olmuştur. Kalın kömür damarı dilimler halinde ve göçertmeli olarak üretildiğinden, zamanla kendiliğinden kızışmaya yatkın kömürün ayak arkasında kalması kaçınılmazdır. Hızlı ayak ilerlemesi, ayna arkasında göçük içerisinde bırakılan kömürün en aza indirilmesi, göçüğe hava gitmesinin engellenmesi, kendiliğinden tutuşmaya yatkın atmosferin bulunduğu boşlukların uçucu kül ve/veya taban külü su karışımıyla inertlenmesi temel yangın önleme teknikleridir. Genelde güvenli ve yangınsız bir işletme için hepsi uygulanmalıdır.

Sahada bundan sonra yapılacak olan çalışmalar, metan riski de taşıdığından hareketle, olabilecek bir ocak yangını ile mücadele çok zor ve daha riskli olacaktır. Güvenli bir üretimin sağlanabilmesi için daha ileri önlemler sıkıca uygulanmalıdır. Bu nedenle, her dilimin üretimi sırasında ve

sonrasında üretimi yapılan boşluklara termik santral külü-su karışımıyla dolgu yapılmalıdır. Ayrıca ayak arkasındaki göçük içerisinde bulunan ortamı izlemek amacıyla göçükteki oksijen, metan ve karbon monoksit değerleri sürekli ölçülmelidir. İlave olarak ayak arkasında sıcaklık değerleri de ölçülerek ileride yangın oluşturacak nüve erkenden tespit edilmeli ve bu bölgeye azot gazı basılarak yangın daha oluşmadan önlenmelidir.

Unutulmamalıdır ki göçükte oluşacak grizu birikimi ve kendiliğinden kızışma birleşimi patlamaya sebep olabilir. Sağlam marn ve kireçtaşı tabakalarının beklendiği gibi göçmemesinden ötürü göçük bölgesinde boşlukların oluşması kaçınılmazdır. Özel önlemler alınmadığı takdirde muhakkak ki patlama için gereken metan, oksijen ve ısı oluşacaktır. Ulaşılamayan alanlar olduğundan ötürü göçük alanlarının kontrolü kritik ve zor bir görevdir.

## 5 SONUÇLAR

Soma Eynez sahası, kömür miktarı ve kalitesi bakımından, Türkiye'deki en değerli linyit sahalarından biridir. Bu yüzden güvenli ve verimli bir üretim yöntemi geliştirmek bir şarttır. Eynez sahasında büyük ölçekte yer altı madenciliği yapılmaya başlanması çok da eski değildir. Yerüstü madenciliğine uygun kömür kaynaklarının tükenmesi yer altı madenciliğini zorunlu hale getirmektedir. Maalesef tavan göçme karakteristikleri, metan drenajı ve kömürün kendiliğinden yanması gibi önemli faktörlerle ilgili yeterli teknik bilgi edinilmemesine rağmen üretim miktarları artmıştır. Aşağıda sıralanan araştırmalara bir an önce başlanması ve sonuçlarının dikkate alınması sayesinde madencilik bilim ve teknolojisine uygun üretimin yapılması gerekmektedir:

- Tavan göçme mekanizması ve tasmanla olan ilişkisi tam olarak belirlenmeli ve devamlı olarak izlenilmelidir. Üretim alanları üzerinde yer alan boşluklar jeofizik ölçümler ile tespit edilebilir. Madendeki tavanın göçme süreci, davranışı ve duraylılık koşulları devamlı

olarak 3B pasif sismik yöntemle takip edilmelidir.

- Güvenli, verimli ve teknolojik üretim yöntemleri ve stratejileri geliştirilmelidir.
- Kömür damarının ve yan kayaçların metan içeriği belirlenmeli ve metan içeriği dağılım haritası hazırlanmalıdır. Metan akışı ve drenaj ayrıntıları ortaya koyulmalıdır.
- Öncelikle kömür damarının kendiliğinden yanmaya yatkınlığı tüm saha için ve konuma bağlı olarak belirlenmelidir. Daha sonra yangına yatkın bölgeler farklı risk seviyelerine göre sınıflandırılmalıdır.
- Tüm hazırlık çalışmalarının, topuk duraylılıklarının ve özellikle üretim adımlarının gerilim-birim deformasyon analizleri kapsamlı bir sayısal modellemeyle ortaya konulmalıdır.
- Maden takip verileriyle desteklenmiş havalandırma şebekesi analizi otomatik olarak gerçekleştirilmelidir. Ayna arkası göçük içerisinden geçen havanın akışı modellenmeli ve gerekli izleme sistemleri olası ısı artışını/kendiliğinden yanmayı erkenden tespit etmek için kurulmalıdır. Maden yangınına engelleyici önlemler ve yangınla mücadele teknikleri detaylı bir şekilde çalışılmalıdır.
- Maden yangının ilerleyişi CFD (Computational Fluid Dynamics - Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) tekniği ile analiz edilmeli ve analiz bulguları gelecekte doğru bir tahliye stratejisi geliştirmek için kullanılmalıdır.
- Mevcut çalışan yer altı ocaklarında yapılacak ayrıntılı risk analiz çalışmaları ile var olan sorunlar tespit edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Aksoy C.O., Küçük K., Uyar G.G., 2016. Long term time dependent consolidation analysis by numerical modeling to determine subsidence effect area induced by longwall top coal caving method. *International Journal of Oil Gas and Coal Technology*, 12(1): 18-37.
- Nebert K., 1978. Soma Neogen region that contains lignite, West Anatolia, MTA Dergisi, 90: 20-69.
- Tercan A.E., Ünver B., Hindistan M.A., Ertunç G., Atalay F. Ünal, M.S., Killoğlu, S.Y., 2013. Seam modeling and resource estimation in the

coalfields of western Anatolia, *International Journal of Coal Geology*, 112(7): 94-106.

- Ünver B., 1995a. Kalın damar kömür madenciliğinde tabaka kontrolü ve göçme mekanizmasına pratik bir yaklaşım, Türkiye 14. Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, 15-22, Ankara
- Ünver B., 1995b., Eynez yer altı ocağının yapısal jeoloji ve jeoteknik açıdan incelenmesi, TUKMD Bülteni, Haziran, 27-40.
- Ünver B., 1996. Possibility of efficient application of semi-mechanization in longwall mining in thick seams, *Journal of Mines Metals and Fuels*, 44(8): 223-230.
- Ünver, B., 1997. Arakatlı göçertme uygulanan kalın kömür damarlarında işletme veriminin artırılması, Türkiye 15. Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, 179-183, Ankara.
- Ünver B., 2014. Soma Eynez kazası ve yapılması gerekenler, Madencilik Türkiye, 43: 72-76.
- Ünver B., Cetiner R., Namlıtürk C., Yalman O.İ., 1991. ELİ Eynez yeraltı ocağında mekanizasyon uygulaması, 12. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 99-116, Ankara.
- Ünver B., Hindistan M.A., Tercan A.E., Ertunç G., Ünal M.S., Killoğlu S.Y., Atalay F., 2015. Soma Eynez kömür sahası için farklı bir üretim yöntemi önerisi, 24. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 363-371, 14-17 Nisan, Antalya.
- Ünver B., Tercan A.E., Hindistan M.A., Ertunç G., Atalay F., Ünal M.S., 2011. Soma-Eynez sahası linyit rezervinin kestirimi ve yer altı işletme projesi, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Nihai Rapor, 235 s. (yayımlanmamış)
- Ünver B., Yaşıtlı N.E., 2006. Modelling of strata movement with a special reference to cavingmechanism in thick seam coal mining, *International Journal of Coal Geology*, 66: 227-252.
- Yaşıtlı N.E., Ünver B., 2004. Numerical modelling of top coal caving in thick seam coal mining, *EUROCK 2004 & 53rd Geomechanics Colloquium*. Schubert (ed.).
- Yaşıtlı N.E., Ünver B., 2005a. 3D numerical modeling of longwall with top coal caving, *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 42(2): 219-235.
- Yaşıtlı N.E., Ünver B., 2005b. 3D numerical modelling of stresses around a longwall panel with top coal caving, *J. of South African Institute of Mining and Metallurgy*, 05(5): 287-300.

# Bir Yeraltı Kömür Madeni Çalışanlarının Psikososyal Risk Faktörlerinin İstatistiksel Değerlendirmesi

## *Evaluation of Psychosocial Risk Factors of Underground Coal Mine Workers*

S. Önder

*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir*

**ÖZET** 6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanununa göre, işveren çalışanların işle ilgili sağlık ve güvenliğini sağlamakla yükümlüdür. Ayrıca, bu kanuna bağlı olarak yayınlanan iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesi yönetmeliğine göre işverenin, çalışanların sağlık ve güvenliğini sağlama amacı ile risk değerlendirmesi yapma yükümlülüğü vardır. İşyerlerinde risk değerlendirmesi yapılırken, fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik, mekanik, elektrik, işyeri ortamı, tehlikeli işlem-yöntem ve psikososyal tehlike kaynaklarının belirlenerek değerlendirilmesi gerekmektedir. Bunların içinden psikososyal risk faktörleri, madencilikte çok fazla değerlendirmeye alınmayan bir risk faktörüdür. Bu çalışmada, Denizli ilinde faaliyet gösteren bir yeraltı kömür madeninde çalışanların psikososyal risk faktörlerini tespit etmek amacıyla bir anket hazırlanmış ve çalışanların bu sorulara cevap vermesi istenmiştir. Ankette üretim baskısı, klasik kazının kazalara etkisi, üstleriyle iş ilişkisi, ücret, aile, vardiyalı çalışma gibi çeşitli sorunlar sorgulanmıştır. Çalışanların cevapları doğrultusunda elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışmadan, çalışanların sosyal çevrelerinin, iş yüklerinin, vardiyalı çalışmanın ve yönetimin tutumunun iş kazalarının oluşumunda oldukça etkili faktörler olduğu bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Psikososyal tehlikeler, risk değerlendirme, yeraltı madenciliği

**ABSTRACT** According to the Law on Occupational Health and Safety No. 6331, the employer is obliged to ensure the health and safety of employees. In addition, according to the regulation on occupational health and safety risk assessment published in accordance with this law, the employer has the obligation to perform risk assessment with the aim of ensuring the health and safety of the employees. The physical, chemical, biological, ergonomic, mechanical, electrical, workplace environment, hazardous process method and sources of psychosocial hazards should be identified and assessed when risk assessments are made at workplaces. Among these, psychosocial risk factors are risk factors that are not considered in mining. In this study, a questionnaire was prepared to determine the psychosocial risk factors of employees working in an underground coal mine in Denizli, and employees were asked to answer these questions. Various problems were questioned such as the production pressure, the accident effect of classical excavation, business relations with superiors, wage, family, shift work. The results obtained in response to the employees' answers were evaluated statistically. From this work, it has been found that the social environments of employees, workloads, shift work and management's attitude are very influential factors in the formation of work accidents.

**Keywords:** Psychosocial hazards, risk assessment, underground mining

## 1 GİRİŞ

İş kazaları ve meslek hastalıklarından çalışanları korumak ve çalışanların daha sağlıklı bir ortamda çalışmalarını sağlamak amacıyla yapılan iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında, öncelikli olarak risk değerlendirmesinin yapılması gerekliliği ortadadır. Risk değerlendirmesi; tüm işyerleri için tasarım veya kuruluş aşamasından başlamak üzere tehlikeleri tanımlama, riskleri belirleme ve analiz etme, risk kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması, dokümantasyon, yapılan çalışmaların güncellenmesi ve gerektiğinde yenileme aşamaları izlenerek gerçekleştirilir. Risk değerlendirme çalışmalarında, fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik, mekanik, elektrik, işyeri ortamı tehlikeleri, tehlikeli işlem-yöntem gibi tehlike kaynakları sıklıkla dikkate alınmaktadır. Ancak psikososyal tehlike kaynakları çok fazla dikkate alınmamaktadır. Özellikle madencilik alanında şimdiye kadar pek üzerinde durulmamış bir konudur. Ancak yasal mevzuatta psikososyal risklerin değerlendirilmesi konusunda hükümler yer mevcuttur.

Risk değerlendirme yönetmeliğinde “tehlikeye ilişkin toplanan bilgiler ışığında; iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili mevzuatta yer alan hükümler de dikkate alınarak, çalışma ortamında bulunan fiziksel, kimyasal, biyolojik, psikososyal, ergonomik ve benzeri tehlike kaynaklarından oluşan veya bunların etkileşimi sonucu ortaya çıkabilecek tehlikeler belirlenir ve kayda alınır” denilmektedir. Ayrıca, çalışma ortamında bulunan fiziksel, kimyasal, biyolojik, psikososyal, ergonomik ve benzeri tehlike kaynaklarının neden olduğu tehlikeler ile ilgili işyerinde daha önce kontrol, ölçüm, inceleme ve araştırma çalışması yapılmamış ise risk değerlendirmesi çalışmalarında kullanılmak üzere; bu tehlikelerin, nitelik ve niceliklerini ve çalışanların bunlara maruziyet seviyelerini belirlemek amacıyla gerekli bütün kontrol, ölçüm, inceleme ve araştırmaların yapılması gerekliliği de vurgulanmaktadır (REGA, 2012)

Çalışanların iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin usul ve esasları hakkında

yönetmelik de, işyerindeki faaliyetler esas alınarak, işverenin çalışanlara iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri verilmesini sağlama yükümlülüğü vardır. Bu eğitimlerin, çok tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde yılda en az bir defa, tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde iki yılda en az bir defa ve az tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde üç yılda en az bir defa olmak üzere verilmesi sağlanır. Az tehlikeli işyerleri için en az sekiz saat, tehlikeli işyerleri için en az on iki saat, çok tehlikeli işyerleri için en az on altı saat olarak her çalışan için eğitim düzenlenir. İşveren, çalışanlarına genel, sağlık ve teknik konularda iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin verilmesini sağlar. İşveren, çalışan fiilen çalışmaya başlamadan önce, çalışanın yapacağı iş ve işyerine özgü riskler ile korunma tedbirlerini içeren konularda öncelikli olarak eğitilmesini sağlar. Burada da sağlık konuları içerisinde, biyolojik ve psikososyal risk etmenleri yer almaktadır (REGA, 2013a)

İşyerlerinde işveren veya işveren vekili tarafından yürütülecek iş sağlığı ve güvenliği hizmetlerine ilişkin yönetmeliğe göre, ondan az çalışanı bulunan ve az tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde, iş sağlığı ve güvenliği hizmetleri, işveren veya işveren vekili tarafından yürütülebilecektir. İşverenlere verilecek 16 saatlik eğitimin 2 saatlik dilimi Sağlık ve Güvenlik Konuları ile Korunma Yöntemleri başlığı altında yer alan bireysel ve organizasyona ilişkin faktörler arasında psikososyal risk etmenlerine yer verilmiştir. (REGA, 2015)

Maden işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliğine göre, işverenin yükümlülükleri arasında, sağlık ve güvenlik dokümanı hazırlanmasını ve güncellenmesini sağlamak yer alır. Hazırlanan bu dokümanda özellikle aşağıdaki hususların yer almasını sağlar.

1) Çalışanların işyerinde maruz kalabilecekleri psikososyal riskler dahil olmak üzere risklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi.

2) Bu Yönetmelik hükümlerini yerine getirmek için alınacak uygun tedbirler ile bu Yönetmelik kapsamında hazırlanması



gereken yönergelerin ve planların hazırlanması.

3) Çalışma yerlerinin ve ekipmanın güvenli şekilde düzenlenmesi, kullanılması ve bakımının yapılması.

Sağlık ve güvenlik dokümanının işyerinde çalışmaya başlanılmadan önce hazırlanmasını ve önemli değişiklikler veya ilave yapıldığında ya da işyerinde meydana gelen iş kazası; çalışan, işyeri ya da iş ekipmanını zarara uğratma potansiyeli olduğu halde zarara uğratmayan olaylardan sonra gözden geçirilmesini ve ihtiyaç halinde revize edilmesini sağlar. (REGA, 2013b)

Bu çalışmada, Denizli ilinde faaliyet gösteren bir yeraltı kömür madeninde çalışanların psikososyal risk faktörlerini tespit etmek amacıyla bir anket hazırlanmış ve çalışanların bu sorulara cevap vermesi istenmiştir. . Ankette üretim baskısı, klasik kazının kazalara etkisi, üstleriyle iş ilişkisi, ücret, aile, vardiyalı çalışma gibi çeşitli sorunlar sorgulanmıştır. Çalışanların cevapları doğrultusunda elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

## 2 PSİKOSOSYAL TEHLİKELER

Psikososyal tehlikeler, bir işin yönetimi, organizasyonu ve tasarımı bakışıyla, ve ayrıca sosyal ve çevresel bağlarıyla, psikolojik, sosyal veya fiziksel zarara neden olma potansiyeli olarak tanımlanabilir. (Cox et all, 2000). Psikososyal tehlikeler sağlığı doğrudan ya da stres aracılığıyla dolaylı olarak etkiler. İşin gerekleri işçinin bilgi, beceri ve gereksinimleriyle çatıştığında (nicel aşırı yük, nitel düşük yük) ve özellikle işçinin işi üzerindeki denetimi ve işi ile ilgili sosyal desteği yetersiz olduğunda iş ve yarattığı psikososyal tehlikeler stres yapıcı özellik kazanarak sağlığı etkilemeye başlar ve psikososyal riskleri oluşturur. Psikososyal tehlikeler farklı kaynaklarda farklı başlıklar altında toplanmakla birlikte, Leka ve ark. 2003 yılında yaptıkları (Leka et all, 2003) çalışmalarında; İş içeriği, İş yükü ve çalışma hızı, Çalışma takvimi, Kontrol, Çevre ve ekipman, Örgüt kültürü ve işlevi, İş yerinde kişiler arası ilişkiler, Organizasyonda rol, Kariyer gelişimi ve Ev-iş arayüzü

başlıkları altında toplamışlardır. Çizelge 1’de psikososyal tehlikeler verilmiştir.

Çizelge 1. Psikososyal tehlikeler (Leka, et all, 2003)

İş içeriği	İş monotonluğu veya kısa iş döngüsü, parçalanmış veya anlamsız iş, becerilerini kullanamama, belirsizlik, insanlara sürekli maruz kalma
İş yükü ve çalışma hızı	Aşırı veya az iş yükü, makine hızına ayak uydurmada güçlük, yüksek düzeyde zaman baskısı, sürekli zaman sınırına tabi olmak
Çalışma takvimi	Vardiyalı çalışma, gece vardiyaları, esnek olmayan çalışma çizelgeleri, öngörülemeyen saatler, uzun çalışma saatleri
Kontrol	Karar almada düşük katılım, aşırı iş yükü üzerinde kontrol eksikliği
Çevre ve ekipman	Mevcut ekipmanın veya bakımının uygun olmaması ; Zayıf çevresel koşullar, örneğin yetersiz alan, zayıf aydınlatma, aşırı gürültü
Örgüt kültürü ve işlevi	Zayıf iletişim, problem çözme ve kişisel gelişim için düşük düzeyde destek, örgütsel hedeflerin tanımlanması veya üzerinde anlaşmaya varılmaması
İş yerinde kişiler arası ilişkiler	Sosyal veya fiziksel tecrit, üstlerle zayıf ilişkiler, kişilerarası çatışma, sosyal destek eksikliği, zorbalık, taciz
Organizasyon da rol	Rolün belirsizliği, rol çatışması ve sorumluluk
Kariyer gelişimi	Kariyer durgunluğu ve belirsizlik, yetersiz veya aşırı promosyon, düşük ücret, iş güvensizliği, çalışmak için düşük sosyal değer
Ev-iş arayüzü	İş ve ev taleplerinin çatışması, çalışanın aileden düşük destek alması, çift kariyer sorunları

Bu tehlikeler üretim baskısı, klasik kazının kazalara etkisi, üstleriyle iş ilişkisi, ücret, aile, vardiyalı çalışma gibi konular üzerinde çeşitli sorunlar oluşturmaktadır. Bu sorunları tespit edebilmek için anket çalışması yapılmıştır.

### 3 UYGULAMA ÇALIŞMASI

#### 3.1 İşletmenin Tanıtımı

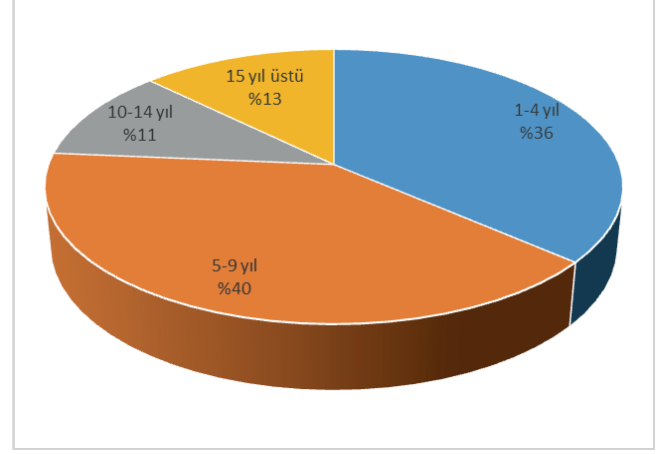
2008 yılından beri linyit üretimi yapan işletme Denizli ilinde faaliyet göstermektedir. Günlük üretimi 100-120 ton arasındadır. Şirket bünyesinde 65 çalışan bulunmaktadır. 50 metre uzunluğundaki ayaklar, geri dönümlü göçertmeli uzunayak üretim yöntemi ile ve martopikörlerle kazı yapılarak üretilmektedir. Üretilen kömür 500 kilogramlık vagonlarla desandri diplerine taşınmaktadır. Buradan vinç yardımı ile yeryüzüne çıkartılarak, kırma eleme tesisinde boyutlandırıldıktan sonra torbalanarak piyasaya verilmektedir. Ocakta ahşap tahkimat kullanılmakta ve havalandırması 1 adet emici vantilatör tarafından sağlanmaktadır. Ocakta merkezi izleme sistemi ile ayrıca mobil gaz ölçüm cihazları ile ölçümler yapılmaktadır.

#### 3.2 Anket Çalışması

Çalışanların psikososyal tehlikelerden kaynaklanan sorunları tespit etmek amacıyla 5'li Likert ölçeği kullanılarak anket soruları hazırlanmış ve Denizli ilinde faaliyet gösteren bir yeraltı kömür madeninde çalışanların bu sorulara cevap vermesi istenmiştir. Çalışanlara yöneltilen sorulara verdikleri cevaplar, aşağıdaki şekilde kodlanmıştır.

- 1= Kesinlikle Katılmıyorum
- 2= Katılmıyorum
- 3= Kararsızım
- 4= Katılıyorum
- 5= Kesinlikle Katılıyorum

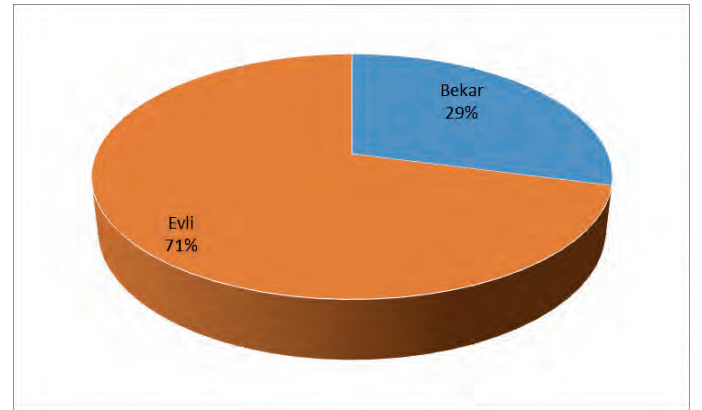
İşletmede çalışanların deneyimlerine göre dağılımları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışanların deneyimlerine göre dağılımları

Şekil 1 incelendiğinde, çalışanların %40'ının 5-9 yıllık deneyimli, %36'sının 1-4 yıllık deneyimli, kalan %24'ünün 10 yıl ve üstünde deneyime sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, çalışanların %64'ü şirkette 5 yıldan daha fazla süredir çalışmaktadır.

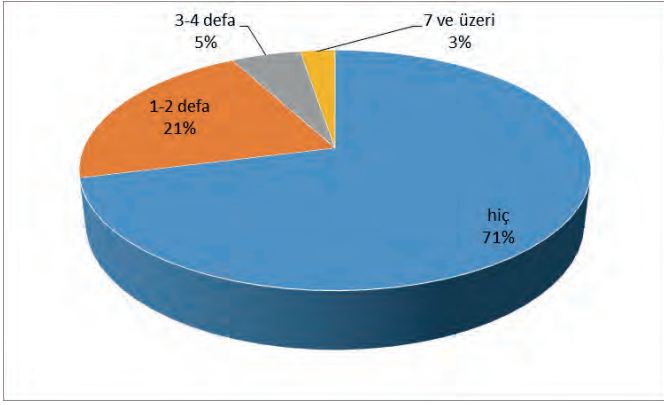
İşletmede çalışanların medeni durumlarına göre dağılımları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışanların medeni durumlarına göre dağılımları

Şekil 2 incelendiğinde, çalışanların %29'unun bekar olduğu, geri kalan %71'inin evli olduğu görülmektedir. Bu oran çalışanların ailevi sorunlarının sorgulanması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

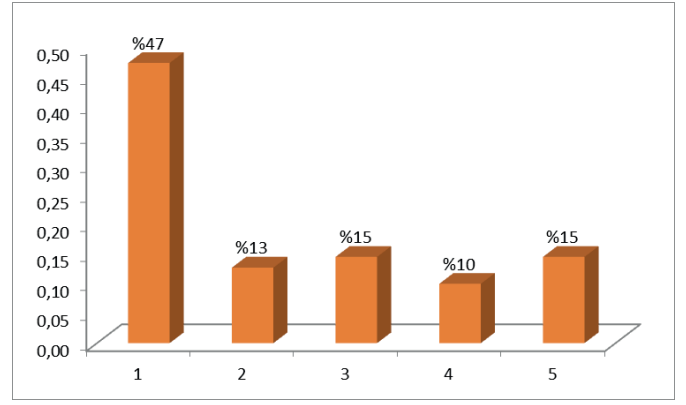
Çalışanların geçirdiği kazalara göre dağılımı Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Çalışanların geçirdiği kazalara dağılımı

Şekil 3 incelendiğinde, çalışanların %71'inin hiç kaza geçirmediği, %21'inin 1-2 defa kaza geçirdiği görülmektedir. Çalışanların %64'ünün 5 yıldan daha uzun süredir işletmede çalıştığı düşünülürse, bu oranın çok gerçekçi olmadığı kanısına varılmıştır. Çalışanlar uzuv kayıplı, günlerce hatta aylarca işe gelemeyecek ağırlıkta olan kazaları "kaza geçirmek" olarak algılamaktadır. Kesik, ezilme, burkulma ile sonuçlanan kazaları, ufak tefek olaylar olarak değerlendirmekte ve ne yazıkki bu tür kazaları kaza olarak saymamaktadırlar. Halbuki bu kazalar yönetime bildirilse ve yönetim tarafından dikkate alınarak değerlendirme yapılırsa, büyük kazaların oluşmasının öüne geçilebilecektir. Bu durum tamamen çalışanların lehine olmakla birlikte, çalışanların algıları bu konuda oldukça düşüktür.

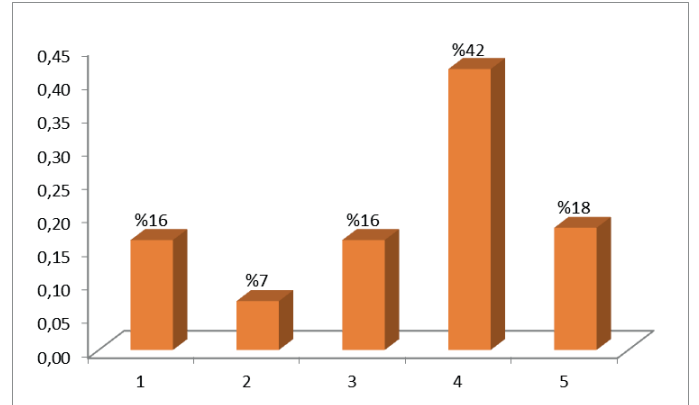
İş yükü ve çalışma hızı ile ilgili olarak, çalışanların "sorumluluğundaki üretimi yetiştirmek için güvenlik kurallarını göz ardı edebilirim" ifadesine katılıp katılmadıkları sorgulanmıştır. Katılım oranları Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Üretim baskısının kazalara etkisi

Şekil 5 incelendiğinde, çalışanların %60'ının sorumluluğundaki üretimi yetiştirmek için güvenlik kurallarını göz ardı etmem dediği, fakat %26 gibi azımsanmayacak bir kitlenin de kuralları ihlal edebileceği, %14'ünün bu konuyu zaman zaman göz ardı edebildiği gözlemlenmektedir.

Ekipmanların yeterliliğini sorgulamak amacıyla, çalışanların "normalde makinelerin taşınması gereken malzemeyi ben taşıyorum" ifadesine katılıp katılmadıkları sorgulanmıştır. Katılım oranları Şekil 6'da verilmiştir.

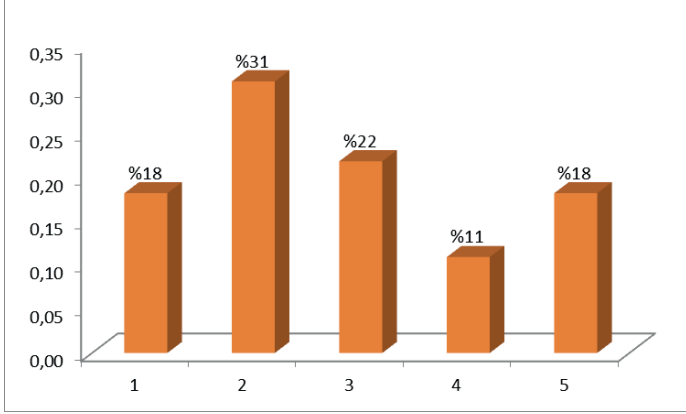


Şekil 6. Elle taşımamanın kazalara etkisi

Çalışanların % 60'ı bir makinanın taşınması gereken malzemeyi kendilerinin taşıdığını, %23'ü malzemeyi kendilerinin taşımadığını düşünürken, % 16' sı kararsız kalmıştır. Klasik kazı yöntemi ile üretimin yapıldığı bir işletmede, mekanizasyonun çok kullanılmadığı düşünülürse, çalışanların bu soruya verdikleri cevapların dağılımı normaldir.

İşyerinde kişiler arası ilişkileri sorgulamak için, çalışanların "amirlerimden saygı gördüğümü düşünmüyorum" ifadesine

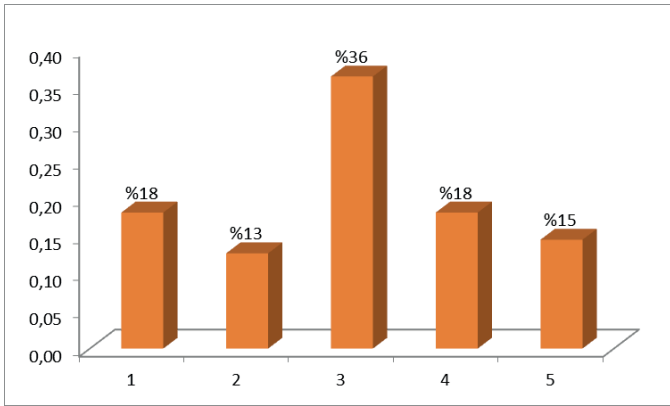
katılıp katılmadıkları sorgulanmıştır. Katılım oranları Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Üstleriyle iş ilişkisinin etkisi

Şekil 7’den, çalışanların %29’unun amirlerinden saygı görmediğini düşündüğü, % 49’unun saygı gördüğünü düşündüğü ve %22’sinin ise kararsız olduğu anlaşılmaktadır. Çalışanların yarısının üstleri ile ilişkilerinin çok iyi olmadığı sonucuna varılabilir.

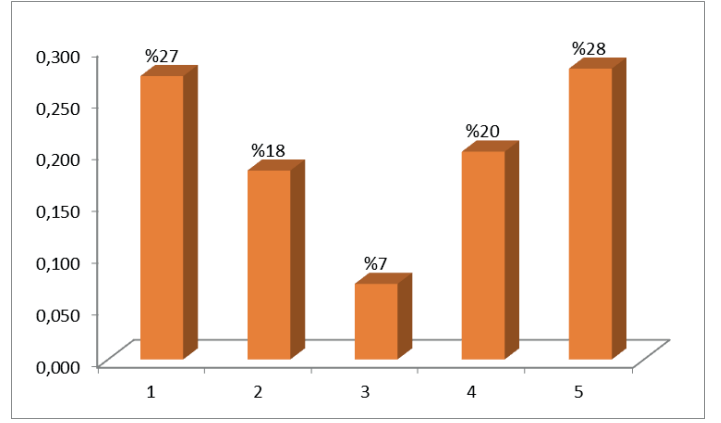
İş yerinde ücret memnuniyetini sorgulamak için, çalışanların “yaptığım işin karşılığını alıyorum” ifadesine katılıp katılmadıkları sorgulanmıştır. Katılım oranları Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Ücret memnuniyetinin etkisi

Çalışanların %33’ü yaptığı işin karşılığını aldığını düşünmektedir. %36’sı kararsız kalırken %31’i yaptığı işin karşılığını almadığını düşünmektedir.

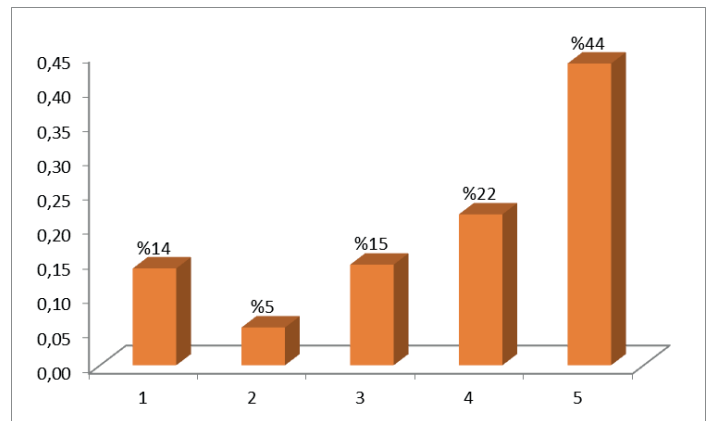
Çalışanların aile ve iş arasındaki durumunu sorgulamak için, çalışanların “eşimle olan uyuşmazlıklardan dolayı iş yerinde dikkatim dağılır” ifadesine katılıp katılmadıkları sorgulanmıştır. Katılım oranları Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Aile problemlerinin dikkate etkisi

Şekil 9’dan, çalışanların %48’inin eşiyile olan uyuşmazlıklardan dolayı iş yerinde dikkatlerinin dağıldığını düşündüğü, %45’inin dikkatlerini dağılmadığı, %6’sının bu konuda kararsız olduğu görülmektedir. Buradan çalışanların yarı yarıya ailevi sorunlarının iş yerindeki çalışmalarını olumsuz olarak etkilediği belirlenmiştir. Çalışanın sorunlu bir evliliğinin olması yada aile bireylerinden birisinin sağlık problemlerinin olması, çalışanın ruhsal dengesinin bozulmasına ve bunun sonucu olarak işini yaparken dikkatinin dağılmasına neden olabilmektedir. Bunlarda iş kazalarının artmasına neden olmaktadır.

Vardiyalı çalışmaların kazalar üzerindeki etkilerini sorgulamak amacıyla “gece vardiyası sonunda kendimi tükenmiş hissediyorum” ifadesine katılıp katılmadıkları sorgulanmıştır. Katılım oranları Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. Vardiyalı çalışmanın etkisi

Şekil 10’dan, çalışanların %66’sının gece vardiyası sonunda kendilerini tükenmiş hissettiği, %15’inde böyle bir durumun

olmadığı ve %19'unun ise bu durum hakkında kararsız olduğu görülmektedir. İnsanın biyolojik saati aslında gün içinde aktif olmaya ve gece uykuya geçmeye programlıdır. Vücut saatinin bu döngüsüne karşı gelindiğinde çok ciddi sağlık problemleri ortaya çıkabilmektedir. Vardiyalı çalışmanın etkilerini çalışma saatlerini yeniden planlanarak ve çalışanların düzenli tıbbi kontrolleri yapılarak azaltılabilir.

#### 4 SONUÇLAR

Çalışmada, Denizli ilinde faaliyet gösteren bir yeraltı kömür madeninde çalışanların psikososyal risk faktörlerini tespit etmek amacıyla üretim baskısı, klasik kazının kazalara etkisi, üstleriyle iş ilişkisi, ücret, aile, vardiyalı çalışma gibi çeşitli sorunlar hazırlanan bir anket il sorgulanmıştır ve çalışanların bu sorulara verdikleri cevaplar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, çalışanların %64'ünün, şirkette 5 yıldan daha fazla süredir çalışmakta olduğu, %71'inin evli, %29'unun bekar olduğu, %71'inin hiç kaza geçirmediği, %21'inin 1-2 defa kaza geçirdiği belirlenmiştir. Çalışanların ağır sonuçlanan, uzuv kayıplı, günlerce hatta aylarca işe gelemeyecek ağırlıkta olan kazaları "kaza geçirmek" olarak algıladıkları, ezik, burkulma yada incinme ile sonuçlanan kazaları kaza olarak değerlendirmemektedirler.

Çalışanların %26'sının sorumluluğundaki üretimi yetiştirmek için güvenlik kurallarını ihlal edebileceği, % 60'sının bir makinanın taşınması gereken malzemeyi kendilerinin taşıdığı, %29'unun amirlerinden saygı görmediğini düşündüğü, %31'inin yaptığı işin karşılığını almadığını düşündüğü, %48'inin eşiyle olan uyuşmazlıklardan dolayı iş yerinde dikkatlerinin dağıldığını, %66'sının gece vardiyası sonunda kendilerini tükenmiş hissettiği belirlenmiştir.

Psikososyal tehlikeler, çalışan sağlığını doğrudan ya da stres aracılığıyla dolaylı olarak etkilemekte ve kazalar üzerinde artırıcı etkilere sahip olmaktadır. İşyerlerinin kendi çalışanlarında bu tehlikelerinin oluşmasına neden olacak durumların var

olup olmadığını belirledikten sonra, tehlikeleri ortadan kaldırmak için önleyici faaliyetlerin belirlenmesi gereklidir.

İş kazalarının ülke genelinde azaltılabilmesi, çalışanların mesleki bilgi ve becerileri artırılarak iş güvenliği bilincinin oluşturulması, işverenlerin kaza istatistiklerini tam olarak tutmaları ve bu konular üzerinde ayrıntılı analiz yapmaları, ilgili resmi kurum ve kuruluşların gerekli denetimleri eksiksiz yerine getirmeleri ile mümkün olacaktır.

#### Teşekkür

Çalışmanın hazırlanmasında verdiği destekten dolayı maden mühendisi Süleyman Talha AKTAŞ'a teşekkür ederim.

#### KAYNAKLAR

- Cox, T., Griffiths, A., and Rial-Gonzalez, E. (2000). Research on work related stress. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities
- Leka, S. Griffiths, A. and Cox, T., 2003, "Work Organisation & Stress: systematic problem approaches for employers, managers and trade union representatives", Institute of Work, Health& Organisations, WHO 2003
- REGA, 2012, İş Sağlığı Ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, Resmi Gazete Sayısı: 28512
- REGA, 2013a, Çalışanların İş Sağlığı Ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul Ve Esasları Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Sayısı: 28648
- REGA, 2013b, Maden İşyerlerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetmeliği Resmi Gazete Sayısı: 28770
- REGA, 2015, İşyerlerinde İşveren Veya İşveren Vekili Tarafından Yürütülecek İş Sağlığı Ve Güvenliği Hizmetlerine İlişkin Yönetmelik, Resmi Gazete Sayısı: 29401

# Güvenli Madencilikte İSG Psikolojisi: Psikososyal Çalışmaların Proaktif Rolü

## *OHS Psychology in Safe Mining: Proactive Role of Psychosocial Studies*

D. Dönmez, B. A. Gülensoy, S. İbiş

*Ciner Grubu Park Holding, İSG Merkezi Takip ve İyileştirme Departmanı, Ankara*

**ÖZET** İSG literatürüne göre; iş kazalarının yaklaşık %90'ı tehlikeli hareketler, %10'u ise tehlikeli durumlardan kaynaklanmaktadır. Ancak geleneksel İSG çalışmaları tehlikeli durumlara, yani konunun %10'una odaklanmakta olup tehlikeli hareketleri göz ardı etmektedir. Bu çalışmalar sağlığı yalnızca bedenen iyi olma odağında irdelerken Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) "bedenen, ruhen ve sosyal açıdan tam bir iyilik hali" tanımı doğrultusunda yetersiz kalmaktadır. Çalışmamızda, bu yetersizlikten hareketle maden iş kazalarındaki insan faktörünün psikososyal sebeplerini belirlemek ve proaktif bir yaklaşımla iyileştirme çalışmaları yapmak amacıyla, bir yeraltı maden işletmesi çalışanlarıyla bireysel görüşmeler ve psikososyal anket çalışmaları yapılmıştır. Bireysel görüşmeler, maden kazalarının en belirgin üç sebebinin dikkatsizlik, acelecilik ve plansız çalışma olduğunu gösterirken; psikososyal anket çalışmaları, kritik kazalar geçirmiş çalışanların hiç kaza geçirmemiş çalışanlara göre risk alma eğiliminin ve dışsal kontrol odağının daha yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır. Analiz sonuçlarına göre iyileştirme çalışmaları geliştirilerek İSG alanına çok disiplinli bir yaklaşım getirmek ve koruyucu bir güvenlik kültürünün gelişimine katkı sağlamak hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Toplam İSG Yönetimi, İSG Psikolojisi, Psikososyal İSG Çalışmaları, maden güvenliği, insan hatası

**ABSTRACT** According to OHS literature; about 90% of work accidents are caused by dangerous movements while 10% of them result from dangerous situations. On the other hand, traditional OSH studies focus only on hazardous situations, which mean ignoring dangerous movements. These studies have fallen behind the health definition of World Health Organization (WHO), "a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity" since their focus is only physical part of health. Thus, the current study aims to determine the psychosocial reasons of the human factor in mining accidents and to make proactive improvement studies. For this purpose, we conducted individual interviews and psychosocial questionnaires with employees of an underground mining company. Interview results showed that showed that the three most obvious causes of mining accidents were carelessness, haste and unplanned work. Besides, psychosocial survey results showed that employees who have experienced critical accidents have a higher tendency to have risk taking behavior and external focus of control than workers who have never had an accident. Based on these results, it was aimed to develop a multidisciplinary approach to the field of OHS and to contribute to the development of a protective safety culture.

**Keywords:** Total OHS Management, OHS Psychology, Psychosocial OHS Studies, mine safety, human error

# 1 GİRİŞ

## 1.1 İş Sağlığı ve Güvenliğinde Psikososyal Çalışmaların Önemi

Heinrich, 1931 yılında yaptığı bir araştırmada kazaların %88'inin tehlikeli hareketlerden, %10'unun tehlikeli durumlardan ve %2'sinin bilinmeyen sebeplerden kaynaklandığını belirtmiştir. Bu araştırma üzerinden 80 yılı aşkın bir süre geçmiş olmasına rağmen, günümüzde hala iş kazalarının neredeyse aynı oranda tehlikeli hareketlerden kaynaklandığı bilinmektedir (Cankurt, 2013; Kepir, 1983). Ancak geleneksel iş sağlığı ve güvenliği (İSG) çalışmaları tehlikeli durumlara, yani konunun yalnızca tek bir yönüne odaklanmakta olup tehlikeli hareketlerin kaynağı olan insan faktörünü çoğu zaman göz ardı etmektedir.

Geleneksel İSG çalışmaları sağlığı yalnızca bedenen iyi olma odağında irdelerken Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO-World Health Organization, 1946) "bedenen, ruhen ve sosyal açıdan tam bir iyilik hali" tanımını doğrultusunda yetersiz kalmaktadırlar. Dolayısıyla sağlık yalnızca bedenen değil, aynı zamanda ruhen ve sosyal açıdan da ele alınması gereken bir kavramdır. Benzer durumun iş kazası kavramı için de geçerli olduğu, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nda Madde 3'ün 1. Fıkrasının g bendinde yapılan iş kazası tanımında görülmektedir. Buna göre iş kazası "işyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen özre uğratan olayı ifade eder" (Resmi Gazete, 2012). 6331'deki "ruhen ya da bedenen" ifadesi 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'nda yer alan iş kazası tanımında da dikkat çekmektedir (Resmi Gazete, 2006). İSG'nin iki önemli kavramı olan sağlık ve iş kazası tanımlarına bakıldığında, İSG alanında psikoloji biliminden faydalanılması gerekliliği ön plana çıkmaktadır.

İş kazalarının altında yatan insan faktörünü ve dolayısıyla psikososyal faktörleri incelemek iş kazalarının azaltılabilmesi için çok büyük bir adım olacak ve güvenlik

kültürünün gelişimine önemli katkılar sağlayacaktır.

Kültür; psikolojik bir yönü olan insan, davranışsal bir yönü olan iş ve durumsal bir yönü olan organizasyon arasındaki çok amaçlı etkileşimlerin bir ürünüdür. Kültürün bir alt boyutu olan güvenlik kültürü, günlük temelde güvenliği arttırmaya yönelik olarak gerçekleştirilen eylemler sayesinde görünür çabalar barındırarak bütün örgüt üyelerini etkileyen bir kavramdır (Cooper, 2000). Esasında güvenlik kültürü, bir kurumun her seviyesindeki her grubun her bir üyesinin, toplum ve işçi güvenliğine verdiği önem, değer ve önceliği yansıtmaktadır. Daha somut haliyle güvenlik kültürü, birey ve grupların güvenlikle ilişkili olarak almış oldukları sorumluluk; güvenlik bilgisini koruma, geliştirme ve aktarma amaçlı eylemler; aktif öğrenme çabası; hatalardan çıkarılan dersler ışığında davranış değişikliğine gitme; ve bu tüm değerlerin sorumluluğuna sahip olma olarak ifade edilebilir (Wiegmann ve ark., 2004). Bir toplumun güvenlik kültürü seviyesini arttırabilmek için öncelikle o toplumun insanlarını, tutum ve dinamiklerini anlamak; bunları anlamak için ise psikososyal analizlerden faydalanarak durum tespiti yapmak önemlidir.

Geleneksel İSG çalışmalarına psikososyal çalışmaları entegre ederek bir Toplam İSG Yönetimi Sistemi oluşturmak İSG çalışmalarını bütünsel olarak ele almayı sağlayacak ve "sıfır iş kazası ve meslek hastalığı" hedefine ulaşabilmeyi kolaylaştıracaktır. Toplam İSG Yönetimi (TİSG); işyerindeki tüm İSG gereksinimlerini proaktif ve koruyucu bir yaklaşımla belirleyerek, kalıcı çözümler üretme ve mevcut şartları sürekli olarak iyileştirme hedefine yönelik sistemli çalışmalar bütünüdür.

Bu çalışmanın amacı, Toplam İSG Yönetimi (TİSG) çalışmaları içerisine psikososyal çalışmaları dahil ederek maden iş kazalarının en büyük sebebi olan tehlikeli hareketlerin kök nedenlerini tespit etmek ve iyileştirme çalışmaları geliştirerek güvenlik kültürünün gelişimine katkıda bulunmaktır.

## 1.2 Psikososyal İSG Çalışmalarının Kapsamı

Psikososyal İSG çalışmaları “insan faktörü” ile ilişkilendirilebilen tüm durum ve davranışları kapsamaktadır. İnsan faktörü düşünüldüğünde, birçok insanda hataların mavi yaka çalışanları tarafından yapıldığı algısı oluşmaktadır. Bu algı bir noktaya kadar doğrudur çünkü ekipman, sistem ve çevre ile doğrudan temas halinde olan kişiler mavi yaka çalışanlarıdır. Ancak, unutulmamalıdır ki yöneticiler, denetçiler, mühendisler vb. de insandır (Simpson, Horberry ve Joy, 2009). Dolayısıyla insan faktörü en üst pozisyondan en alt pozisyona kadar tüm çalışanların yaptıkları işler kapsamında ele alınması gereken bir konudur.

Araştırmalara göre hataya sebep olan faktörler risk alma eğilimi, inançlar, fazla iş yükü, bilginin, yeteneğin veya tecrübenin az olması, kullanılan teknolojilerin kötü bir şekilde tasarlanması, eğitim ve süpervizyonun yetersiz olması, ortamın stres faktörü olması, psikolojik durum (tükenmişlik, zihin meşguliyeti, kaygılar, dikkatin dağılması vb.) olabilir (Breakwell, 2007; Lawton & Parker, 1998). İnsan hatalarının sebebiyet verdiği tehlikeli hareketler işi güvenli yolla yapmak yerine kolay yolu seçmek, yanlış iş güvenliği bilgisi, yanlış yönlendirme, aceleci çalışmak, ortamdaki bilgiye kayıtsız kalmak, bilgiyi yanlış yorumlamak, mevcut durumun gerektirdiği eylemi seçmemek gibi davranışları içermektedir (Breakwell, 2007; Kumral, 2015).

İnsan hatalarının genellikle bilişsel süreçlere (planlama, bilgiyi depolama, uygulama) dayandığı söylenmektedir. Önceden depolanmış olan bilgiyi uzun süreli bellekten geri çağırma ve seçme esnasında bilişsel süreçlerin efektif olarak kullanılmaması hataya sebebiyet verecektir (Breakwell, 2007).

Psikososyal İSG çalışmaları insan hatalarının kök nedenlerini tespit etmek, bu hataları ve olası diğer hataları ortadan kaldırmaya yönelik iyileştirme çalışmaları yapmak ve insanları doğru davranışa yönlendirmeyi sağlamak üzerine geliştirilmiş çalışmaları içermektedir.

## 2 YÖNTEM

Bu çalışmada bir yeraltı kömür madeni işletmesinde hiç kaza geçirmemiş en uzun süreli çalışan kişiler ve onlarla aynı sürede çalıştığı halde kritik kazalar geçirmiş çalışanların psikososyal özelliklerinin karşılaştırılması yöntemi kullanıldı. Kritik kazalar geçirmiş çalışanların kaza istatistikleri Excel’de filtreleme yöntemiyle analiz edildi. Kritik kaza kriterleri olarak kazada zarar gören organın hayati olması, kazanın derecesi, raporlu gün sayısı ve çalışanın toplam kaza sayısı belirlendi. Analiz sonucunda 24 kişilik bir çalışan listesi elde edildi. Kritik kazalar geçirmiş çalışan örnekleme belirlendikten sonra onlarla aynı işte çalışmasına rağmen hiç kaza geçirmemiş en uzun süreli çalışan 20 kişinin bilgisine ulaşılarak iki farklı gruptan oluşan örneklem belirlendi. Belirlenen çalışanlarla çeşitli psikososyal çalışmalar yapmadan önce onların çalışma ortamlarını gözlemleyip onları daha iyi anlayabilmek amacı ile çalışmakta oldukları yeraltı kömür madeni sahası gezildi.

Uygulama aşamasında bir yeraltı kömür madeni işletmesinde 16’sı hiç kaza geçirmemiş, 16’sı kritik kazalar geçirmiş 32 kişi ile bireysel görüşmeler gerçekleştirildi. Görüşmeler tamamlandığında elde edilen sonuçların kalitatif analizleri yapılarak 15’i hiç kaza geçirmemiş, 20’si kritik kazalar geçirmiş 35 kişiye psikososyal testler uygulandı.

### 2.1 Bireysel Görüşmeler

Bireysel görüşmelerden her biri ortalama 40 dk süre ile gerçekleştirildi. Bireysel görüşmelerde değinilen başlıca konular;

- Günlük işlerin yetişmemesine amirlerin verdiği tepkiler,
- Yapılan işin zor koşulları,
- Çalışma ortamındaki eksiklikler,
- Ramak kala bildirimleri,
- İş kazalarının sebepleri,
- İş kazalarının azaltılması için yapılması gerekenler.

### 2.2 Psikososyal Testler

Bireysel görüşmelerden elde edilen verilere göre araştırmada kullanılması gerekli görülen başlıca psikososyal testler Kontrol Odağı



Ölçeği (Dağ, 2002) ve Risk Alma ve Heyecan Arama Ölçeğidir (Sümer ve Özkan, 2002).

### 3 BULGULAR

#### 3.1 Bireysel Görüşmeler

Çalışanlarla yapılan bireysel görüşmelerin içerik analizi yöntemi ile kalitatif analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yeraltı kömür maden kazalarının en önemli üç sebebinin dikkatsizlik/dalgınlık, acelecilik ve düzensiz çalışma olduğu tespit edilmiştir. Diğer sebepler yapılan işin ciddiyetini benimseyememe, kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanımını ihmal etme, işgücü yetersizliği, yorgunluk, uykusuzluk, sistemin arızalanması, bildirim ihmali, yeraltı şartlarının değişkenliği, yeraltında görüş alanının kısıtlılığı, işe yeni başlayanların deneyimsizliği, bilgi eksikliği, tecrübeli çalışan sayısının azlığı, emniyetsiz bölgede bulunma, ekip içi iletişim sorunları, amir baskısı ve vardiyalı sistemin olumsuz etkileridir.

Bireysel görüşme sonuçlarına göre iş kazaların azaltılması için yapılması gerekenlerden başlıcaları;

- Kişisel yaşam problemlerini işe taşımamak,
- KKD kullanımına özen göstermek,
- Eğitimleri arttırmak,
- Aceleci çalışmamak,
- Dikkatini işe yoğunlaştırmak,
- Uyku ve dinlenmeye önem vermek,
- Amir baskısını azaltmak,
- İşe alımlarda daha seçici davranmak,
- Stresi azaltmak,
- Çalışanlara bireysel geri bildirim vermek ve
- Çalışanların normalleştirdiği risklerin dış gözler tarafından sürekli takibinin yapılmasıdır.

#### 3.2 Psikososyal Testler

Psikososyal testler SPSS yazılımında t-testi ve korelasyon analizleri kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kritik kazalar geçirmiş çalışanların risk alma eğilimi hiç kaza geçirmemiş çalışanlara göre daha yüksektir.

Psikososyal testlerle ölçülen diğer faktör dışsal kontrol odağıdır. Dışsal kontrol odağı,

bireyin yaşadığı olayların şanssızlık, başkaları, kader gibi kendisi dışındaki etkenlere bağlı olduğuna inanmasıdır (Rotter, 1966). Dışsal kontrol odağı yüksek olan bireyler kendi davranışları ve sonuçları üzerinde kontrol sahibi olmadıklarını düşünürler. Dolayısıyla dışsal kontrol odağı yüksek olan çalışanlar kaza yapmaya daha meyillidir çünkü şans ve kader gibi dışsal faktörlerin yaşamlarındaki belirleyici güçler olduğuna inanan insanların iş ve günlük yaşamdaki tehlike ve risklere bakışı çok daha farklı ve cesurcadır (Jones, Steffy ve Bray, 1991). Bu insanlar tedbir alınsın ya da alınmasın başına gelecek şeylerin kaçınılmaz olduğunu düşünür ve ona göre hareket eder. Bu çalışmanın sonuçları, kritik kazalar geçirmiş çalışanların dışsal kontrol odağının hiç kaza geçirmemiş çalışanlardan daha yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır. Psikososyal testlerden elde edilen diğer bulgular kritik kazalar geçirmiş çalışanların hiç kaza geçirmemiş çalışanlara göre daha fazla iş yükü ve psikolojik baskı hissetmeleridir.

### 4 SONUÇ, ÖNERİLER VE İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

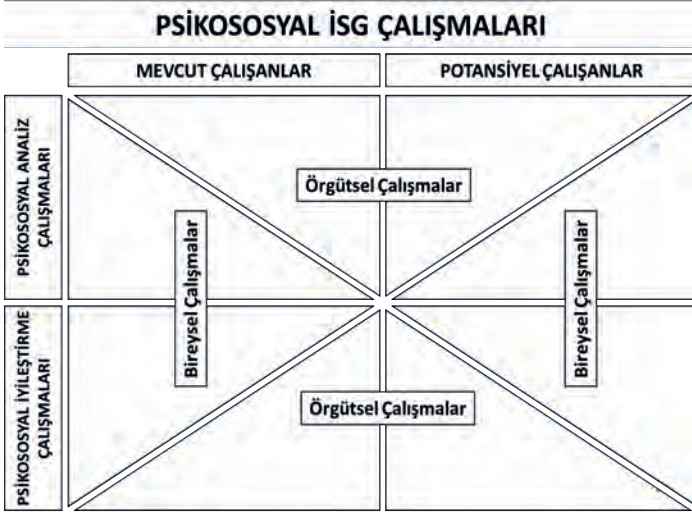
Toplam İSG Yönetimi kapsamında iş kazalarının altında yatan psikososyal sebepleri tespit etmek ve “sıfır iş kazası ve meslek hastalığı” hedefine ulaşabilmek amacıyla 32 mavi yaka çalışanı ile bireysel görüşmeler gerçekleştirilmiş; sonrasında 35 çalışana psikososyal testler uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, Toplam İSG Yönetimi'nin Psikososyal Analiz ve İyileştirme Çalışmaları (PSAI) alt boyutu üç parametreden oluşturulmuştur. Bunlar:

**a. Psikososyal Analiz ve İyileştirme Çalışmaları:** Tüm İSG süreçlerinin altında yatan psikososyal faktörleri tespit ederek bu faktörlerin sürekli olarak iyileştirmesi üzerine kurulmuş bir parametredir.

**b. Bireysel Çalışmalar ve Örgütsel Çalışmalar:** Organizasyon üyelerini hem bireysel hem örgüt kültürünün bir parçası olarak değerlendirmek ve hem bireysel hem kurumsal çalışmalar yapmak üzere belirlenmiş bir parametredir.

**c. Mevcut Çalışanlar ve Potansiyel Çalışanlar:** Yalnızca organizasyonun mevcut çalışanlarının gelişimini değil, aynı zamanda potansiyel çalışanları (organizasyonun yakın çevresindeki bireyler, iş başvurusu yapan adaylar vb.) da

önemseyerek onların gelişimine katkıda bulunmayı amaç edinen bir parametredir.



Şekil 1: Psikososyal Analiz ve İyileştirme (PSAİ) Çalışmaları

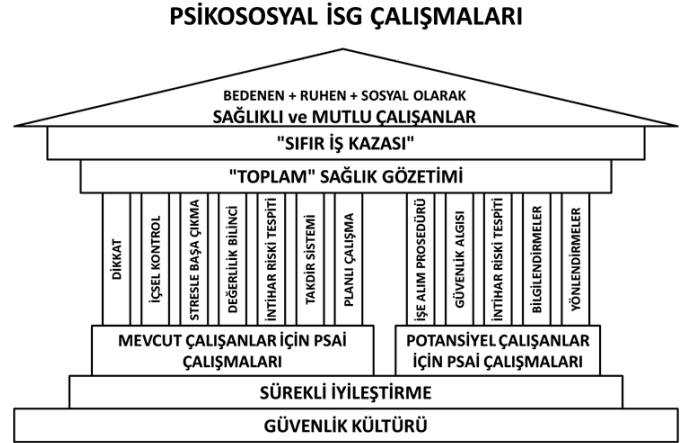
PSAİ çalışmalarının parametreleri birbirine entegre edilerek Psikososyal İSG Çalışmaları Modeli (Bkz. Şekil 1) oluşturulmuştur. Bu model aşağıdaki 8 farklı çalışmanın eş zamanlı olarak yürütülmesine işaret etmektedir:

- Mevcut Çalışanlar için Örgütsel Psikososyal Analiz Çalışmaları:** ramak kala kısıt analizi, güvenlik kültürü seviyesi belirleme, davranış odaklı risk değerlendirmesi vb.
- Mevcut Çalışanlar için Bireysel Psikososyal Analiz Çalışmaları:** intihar riski belirleme, risk alma eğilimi belirleme, psikolojik baskı ölçümü vb.
- Potansiyel Çalışanlar için Örgütsel Psikososyal Analiz Çalışmaları:** güvenlik kültürü seviyesi belirleme, İSG odaklı işe alım prosedürü vb.
- Potansiyel Çalışanlar için Bireysel Psikososyal Analiz Çalışmaları:** intihar riski belirleme, güvenlik algısı ölçümü vb.
- Mevcut Çalışanlar için Örgütsel Psikososyal İyileştirme Çalışmaları:** eğitim ve bilgilendirmeler, takım sistemi, takdir sistemi, iş başı ve iş sonu konuşmaları, planlı çalışma alışkanlığı kazandırma vb.
- Mevcut Çalışanlar için Bireysel Psikososyal İyileştirme Çalışmaları:** stresle ve tükenmişlikle başa çıkma çalışmaları, bilgece farkındalık uygulamaları, dikkati ve içsel kontrolü artırma, çalışanlarda değerlilik bilinci oluşturma, ramak kala bildirim teşvikleri vb.

- Potansiyel Çalışanlar için Örgütsel Psikososyal İyileştirme Çalışmaları:** değerlilik bilincini artırma çalışmaları, güvenlik kültürü seminerleri vb.
- Potansiyel Çalışanlar için Bireysel Psikososyal İyileştirme Çalışmaları:** eğitimler, uzman tavsiyeleri ve yönlendirmeleri vb.

Toplam İSG Yönetimi'nin PSAİ modeli kurumların güvenlik kültürü seviyesini arttırarak sürekli iyileştirme hedefi üzerine kurulmuş bir modeldir. Model dahilinde eş zamanlı olarak gerçekleştirilecek olan 8 farklı çalışma ile geleneksel İSG yaklaşımının ötesinde çalışmalar yapılarak toplam sağlık gözetimi sağlanmış olacaktır. Toplam sağlık gözetiminin sağlanmasıyla birlikte "sıfır iş kazası ve meslek hastalığı" hedefine ulaşma konusunda önemli bir adım atılırken çalışanlara daha sağlıklı, mutlu ve güvenli bir çalışma hayatı sunulacaktır (Bkz. Şekil 2).

Bu çalışma madenlerde İSG alanına çok disiplinli yeni bir yaklaşım getirmeyi hedeflemiştir. Bu yaklaşımın ülkemizde tüm sektörlerde uyarlanması, "önce güvenlik" ilkesini içselleştirmiş bir koruyucu güvenlik kültürü yaklaşımının ülkemizdeki gelişimine katkı sağlaması beklenmektedir.



Şekil 2: Psikososyal İSG Çalışmaları

## KAYNAKLAR

- Breakwell, G. M., 2007. *The psychology of risk*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Cankurt, M. Z., 2013. Çalışanların Kişisel Özelliklerinin İş Kazalarının Meydana Gelmesi Üzerindeki Etkisi, *Tühis İş Hukuku Ve İktisat Dergisi*, 24, 6, 70-101.
- Cooper, D. M., 2000. Towards a Model of Safety Culture, *Safety Science*, 36, 111-136

- Dağ, İ., 2002. Kontrol odağı ölçeği (KOÖ): Ölçek Geliştirme, Güvenirlik ve Geçerlik Çalışması, *Türk Psikoloji Dergisi*, 17, 49, 77-90.
- Dünya Sağlık Örgütü, 1948. *Uluslararası Sağlık Konferansı*, New York, 11-22 Haziran 1946.
- Heinrich, H. W., 1931. *Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach*, New York : McGraw-Hill.
- Jones, J. W., Steffy, B. D., & Bray, D. W., 1991. *Applying Psychology in Business: The Handbook for Managers and Human Resource Professionals*, MA: Lexington Books, Lexington.
- Kepir, H., 1983. İş Kazalarında İnsan Faktörü ve Eğitimi, *Çeşitli Boyutları ve Çözüm Önerileri ile İş Kazaları Seminer Bildirileri*, MPM Yayınları, 284.
- Kumral, H., 2015. *Teknik ve Davranışsal Risk Analizleri*, TMMOB – Kimya Mühendisleri Odası, İstanbul, 298.
- Lawton, R., & Parker, D., 1998. Individual differences in accident liability: A review and integrative approach, *Human Factors*, 40, 4, 655–671
- Resmi Gazete, 2006. Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/06/20060616-1.htm> Erişim Tarihi: 17.01.2017
- Resmi Gazete, 2012. İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/06/20120630-1.htm> Erişim Tarihi: 17.01.2017
- Rotter, J. B., 1966. Generalized expectancies for internal vs. external control of reinforcement, *Psychological Monographs*, 80, 1-28.
- Simpson, G., Horberry, T., & Joy, J., 2009. *Understanding Human Error in Mine Safety*, Farnham, England: Ashgate.
- Sümer, N. & Özkan, T., 2002. Sürücü Davranışları, Becerileri, Bazı Kişilik Özellikleri ve Psikolojik Belirtilerin Trafik Kazalarındaki Rollerini, *Türk Psikoloji Dergisi*, 17, 50, 1-25.
- Wiegmann, D., Zhang, H., Von Thaden, T., Sharma, G., & Gibbons, A., 2004. Safety Culture: An Integrative Review, *International Journal of Aviation Psychology*, 14.

# Madencilikte Bilgisayar Destekli Eğitim Çalışmalarına Örnekler

## *Computer Aided Learning Tools in Mining Engineering Education*

Ö. Akkoyun

*Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*

**ÖZET** Bu çalışmada, maden mühendisliği öğretim sürecindeki derslerde kullanılmak üzere geliştirilen iki yazılım tanıtılmıştır. Birinci yazılım küçük bir maden ocağı ve bağlı tesisinin temel işlemlerini modelleyen bir benzetim programıdır. İkinci yazılım, yerüstü maden işletmelerini iki boyutlu olarak ekrana yansıtan bir görsel arayüze sahiptir. Bu program, yerüstü maden işletmesindeki üretim faaliyetlerinin bir benzerini ekranda oluşturup kullanıcının madencilik parametrelerini değiştirerek iki farklı senaryo yaratmasına izin vermektedir. Her iki yazılımda da, kullanıcı değiştirdiği parametrenin madencilik faaliyetlerinin sonuçlarına nasıl etki ettiğini görebilmektedir. Program tanıtımları ile birlikte, bu araçların kullanıldığı derslerden elde edilen öğrenci geri dönüşleri anket çalışması sonuçları olarak paylaşılmış ve yorumlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Maden mühendisliği, eğitim araçları, yazılım geliştirme, benzetim

**ABSTRACT** In this study, two different computer programs, which have been developed for educational purposes for mining engineering lectures, are introduced. The first software is a simulation tool which simulates a small open pit mine with its processing plant. The second software represents surface mining operations in 2D and provides an interactive interface which symbolizes surface mining operations and user can create two different scenarios with different parameters. With this way, the results of this change on the mining operation can be seen. Finally, the students' feedbacks from the lectures where these tools were used are presented.

**Keywords:** Mining, courseware, educational tools, computing, simulation

## 1 GİRİŞ

Günümüzde bilgisayarların girmediği bir yaşam ya da uğraş alanı neredeyse kalmamıştır. Özellikle toplumun hemen her kesiminin kullandığı cep telefonlarının birer küçük bilgisayara dönüşmesi ile bilgisayar teknolojileri ve yazılımlar gündelik yaşamın bir parçası haline gelmişlerdir.

Bilgisayar teknolojileri ve yazılımların girdiği alanlardan birisi de eğitim öğretim faaliyetleridir. Zaten yeni teknolojilere en istekli ve hızlı erişen ve onları kullanan toplum kesimi çocuklar ve gençlerdir. Bu nedenle eğitim ve öğretimin merkezinde olan çocukların ve gençlerin, bu teknolojilere alışıp kullanmaları görece daha hızlı olmaktadır.

Genel olarak eğitim öğretimde ve özelde de mühendislik öğretiminde hiç kuşkusuz en

ideal olanı; teorik bilginin yanında uygulamaların da yapıldığı, yerinde, dokunarak görerek hatta uygulayarak öğrenmektir. Bu açıdan, teknolojik gelişmeler sonucunda ortaya çıkan eğitim araçları, hatta sanal gerçeklik uygulamaları, sanal olmayan, ‘gerçek’ eğitim-öğretim uygulamalarının bir alternatifi değil destekçisi olarak değerlendirilmelidir.

Diğer taraftan, madencilik gibi bazı meslek gruplarında, çok çeşitli sebeplerden dolayı uygulamalı eğitim-öğretim faaliyeti yapmak gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Sektörde yaşanan sorunlar, staj yapma olanaklarının günden güne azalması, bazı üniversite ve bölümlerdeki kısıtlı laboratuvar olanakları ve daha başka birçok nedenden dolayı uygulamalı eğitim öğretim çalışması yapmak artık daha zordur.

Değişen koşullar ve bilgisayar teknolojilerindeki hızlı ilerlemenin bir sonucu olarak, son yıllarda bilgisayar destekli eğitim-öğretim araçları gelişme konusunda büyük ilerlemeler sağlanmıştır; bunlardan bazıları sadece sınav yapmak için, bir bölümü öğrencileri cesaretlendirip etkileşimlerini artırmak ve grup içinde çalışma becerilerini artırmak içindir (Siller ve diğ., 1999; Ong ve Mannan, 2004). Bazıları iskelet (Yuan ve Teng, 2002) ya da diğer biyoloji konuları gibi (Bhargava ve diğ., 2006) görsel ağırlıklı konularda ders anlatmak için iki boyutlu görsel laboratuvarlardır. Masala ve Biggar (2003) ise görsel jeoteknik laboratuvarını kurmalarının en önemli nedenlerinden birisinin öğretim açısından yetersiz ve küçük sınıflara sahip olmaları olduğunu ifade etmiştir. Gerekçeleri farklı olsa da bilgisayar destekli eğitim araçlarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Bu eğitim-öğretim araçlarından birisi de modelleme ve benzetim (simülasyon) dir. Benzetim, en yalın ifade ile bir gerçekliğin ya da bilinen bir sürecin/işlemin canlandırılmasıdır. Benzetimler eğitimde yıllardır kullanılmaktadırlar ve mühendislik öğretiminde özellikle laboratuvar uygulamaları açısından önemli rol

oynamaktadırlar (Balamuralithara ve Woods, 2012).

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, eğitim amaçlı kullanılan benzetim araçları hem sınıf ortamları ve hem de kendi kendine çalışma için verimli olmakta, mühendislik öğretiminde uygun kullanıldıklarında yazılımlar, öğrencinin akademik bilgiyi endüstriye aktarma ve uygulama sürecini hızlandırmaktadırlar (Desphande ve Huang, 2011). Vidaurre ve diğ. (2002), fiziksel süreçler için görsel bir benzetim aracı geliştirmiştir. Ayrıca jeoloji, hücre biyolojisi ve elektromanyetizma öğretim süreçlerinde kullanılan benzetim araçları ile ilgili yapılan kontrollü çalışmalar göstermiştir ki benzetime dayalı öğrenme araçları, klasik öğrenme ortamına göre daha olumlu sonuçlar vermiştir (McClellan ve diğ., 2001; Squire, 2003). Çeşitli konuların öğretiminde; örneğin mekanik ve dinamik (Aziz, 2011), harmonik hareket (Martinez, ve diğ., 2010), atalet momenti (Chimenti ve Ochs, 1999), akışkanlar mekaniği (Zueco, 2013), elektrik mühendisliği (Tuncer ve diğ., 2009), mekanik (Deliktaş ve diğ., 2011) konularında benzetim araçları geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Biyoloji (Datta ve diğ., 2013) ve mekanik mühendisliği (Fu, 2003) dalları benzetim araçlarının en çok kullanıldığı alanlardandır.

Bunlardan ayrı olarak, yerbilimleri ve maden mühendisliği alanında da benzetim araçları kullanılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları doğrudan maden ocağı benzetimi (Sturgul, 1999), cevher hazırlama tesis optimizasyonu amaçlı benzetim çalışmaları (Hodouin, 2011), sanal gerçeklik (Kızıl, 2003; Erarslan, 2007; Mallet ve Unger, 2007), iş güvenliği eğitimleri için benzetimler (Filigenzi ve diğ., 2000) ve risk yönetimi için benzetim çalışmalarıdır (Zhang ve diğ., 2006).

Bu bildiri ile maden mühendisliği öğretim sürecinde kullanılmak üzere yazar tarafından geliştirilen iki ayrı bilgisayar programı tanıtılmıştır. Birinci yazılım bir benzetim yazılımı olup küçük bir yerüstü maden işletmesi ile ocaktan gelen cevherin beslediği ve kırma-eleme-manyetik ayırma aşamalarını içeren bir tesisten oluşan bütün

bir sistemin benzetimidir. İkinci yazılım ise yine bir yerüstü maden işletmesi için delme-patlatma-yükleme-taşıma sistemleri ile ilgili parametrelerin girilip hesaplamaların yapıldığı bir öğretim aracıdır. Bu yazılım da gerçek saha verilerinin salınım frekanslarına dayandığı için bir çeşit benzetim sayılabilir ancak rastgele sayı üretici içermemektedir. Takip eden bölümlerde yazılımlar ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiş olup bildiri sonunda bu araçların kullanıldığı derslerden elde edilen öğrenci geri dönüşleri anket çalışması sonuçları olarak paylaşılmış ve yorumlanmıştır.

## 2 ÖRNEK YAZILIMLAR

### 2.1 Benzetim Yazılımı

Maden mühendisliği öğretiminde kullanılmak üzere geliştirilen birinci yazılım, görece küçük boyutlardaki gerçek bir yerüstü maden işletmesindeki temel işlemleri kapsamaktadır (Akkoyun ve Careddu, 2014). Bu işlemler; delme, patlatma, ham cevherin yüklenmesi, nakliye, tesiste kırma, eleme, el ile ayıklama, manyetik ayırıcı ile ayırma ve ayıklanmış cevherin yüklenmesi ve nakledilmesi aşamalarıdır. Bu aşamalar ile ilgili gerçek bilgiler, söz konusu maden işletmesinden toplanan geçmiş yıllara ait üç yıllık verilerden (Akkoyun, 1998) derlenerek elde edilmiştir.

Bu verilerden yararlanılarak önce maden işletmesindeki işlem adımları ortaya çıkarılmıştır. Ardından bu işlem adımları içinde yer alan sabitler ve değişkenler tespit edilmiştir. Daha sonra değişkenlerin istatistiksel karakteristikleri, toplanan veriler kullanılarak ortaya çıkarılmıştır. İstatistiksel çalışma ile değişkenlerin alt ve üst sınır değerleri, salınım frekansları ve dağılım özellikleri ile normal dağılıma uygunlukları sınanmıştır. Son olarak istatistiksel bilgileri ve dağılım karakteristikleri bilinen veri grupları için benzetim teknikleri kullanılarak aynı istatistik özellikleri taşıyan yeni veriler rastgele üretilmiştir. Normal dağılıma uygun davranış gösteren parametreler için rastgele yeni veri üretmekte kullanılan eşitlik, aşağıda (1) verilmiştir.

$$z_{(x)} = \frac{(X - \mu)}{\sigma} \quad (1)$$

Burada, X üretilen yeni veriyi,  $\mu$  veri kümesi ortalamasını,  $\sigma$  veri kümesi standart sapmasını ve  $z(x)$  ise normal dağılıma uygun üretilen verinin gerçekleşme olasılık değerini (z tablosundan) vermektedir.

Bu istatistiksel hazırlık çalışmalarının ardından, maden işletmesindeki işlem adımlarının içeren akım şeması ve aynı akım şeması üzerindeki değişkenlerin rastgele üretildikleri birçok alt yordamdan oluşan bir algoritma geliştirilmiştir. Daha sonra bu algoritma, görsel açıdan güçlü bir yazılım geliştirme aracı olan MSVisualBasic6.0 derleyicisi ile derlenmiştir. Görselliğe ağırlık verilmesindeki amaç, öğrencilerin dikkatlerini çekerek program ile daha fazla zaman geçirmelerini sağlamaktır.

Geliştirilen benzetim programına işlem adımlarının her birisini temsil eden farklı pencereler ile veri girişi yapılabilmektedir. Bu sayede kullanıcı istediği değişkenin değerini istediği şekilde değiştirebilmektedir. Çalıştırıldığında ise delik delme işlemi ile başlanıp, belirli bir delik sayısına ulaşıldığında, patlatma işlemi devreye girmektedir. Patlatma işlemi ile anlık olarak elde edilen hacim hesaplanıp yükleme işlemi tetiklenmektedir. Yükleme ve nakliyenin ardından kırma işlemi ve takip eden işlemler ekranda anlık olarak gözlenmektedir.

Maden ocağı ile ilgili hangi işlem adımı çalışıyor ise o adıma ait simge üzerinde yeşil ışık yanmakta ve simgesi hareket etmektedir. İşlem durduğunda ışık kırmızıya dönüp hareket durmaktadır. Böylece kullanıcı o anda hangi işlem adımının aktif olduğunu gözlemleyebilmektedir.

Tüm faaliyetler ile ilgili (üretilen, yüklenen, taşınan, ayıklanan vb.) bütün veriler hesaplanıp anlık olarak gösterilmekte, aynı anda ekonomik parametreler de hesaplanıp ekrana yansıtılmaktadır (Şekil1).

Program, yukarıda sözü edilen maden işletmesinin parametreleri üzerine kurgulanmış olsa da kullanıcı, işlem adımlarını temsil eden simgelerin tıklanması ile açılan pencereleri kullanarak hemen her

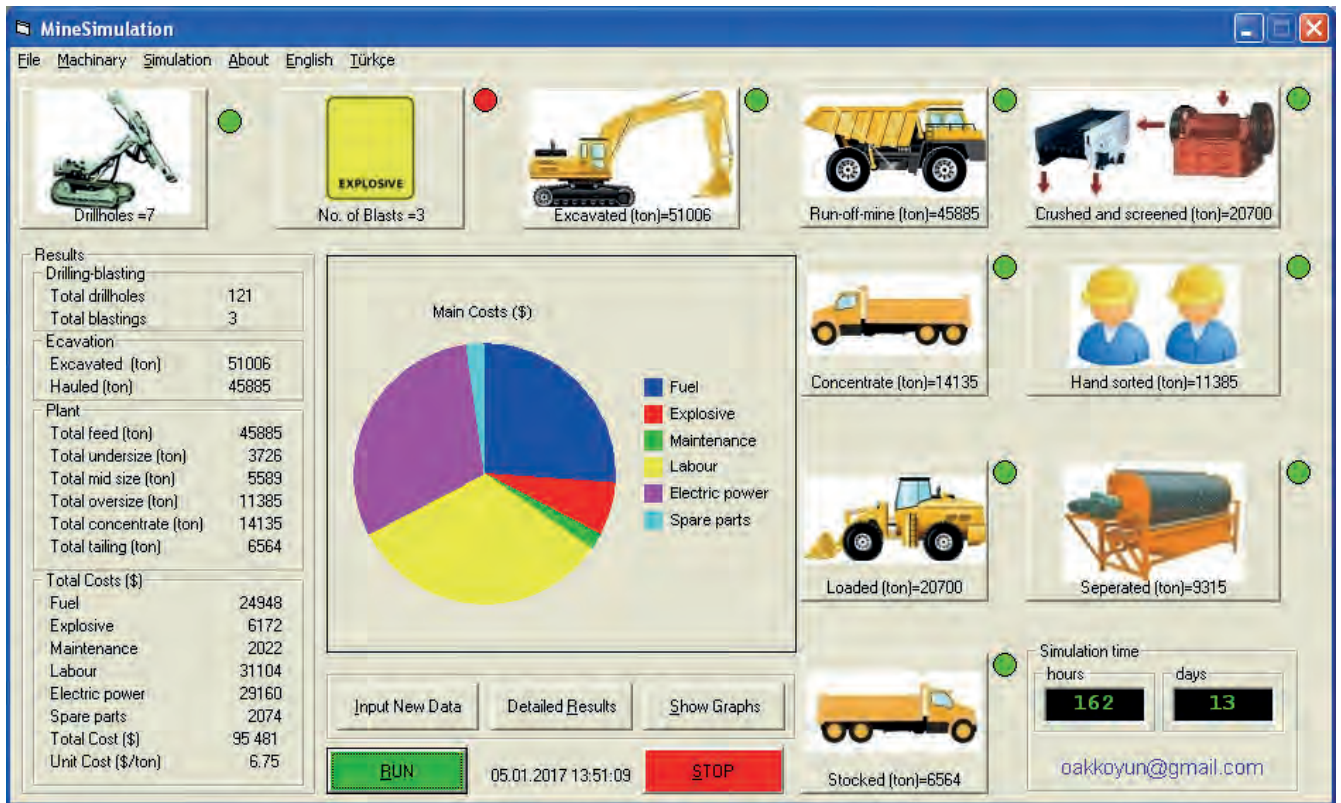
parametreyi değiştirebilir, farklı bir işletme oluşturabilir ve sonuçlarını gözlemleyebilir.

Çalışma gerçekleştirildikten sonra Dicle Üniversitesi Maden mühendisliği bölümünde ilgili birkaç derste kullanılmış ve öğrencilerden programı değerlendirmeleri istenmiştir. Değerlendirme için bir Likert ölçeği kullanılmış ve 5 adet soru sorulmuştur. Öğrencilerden 23 tanesi testi tamamlayıp cevaplarını teslim etmişlerdir. Sorular Tablo1’de verilmiştir.

Bu sonuçlara göre öğrencilerin %73’ü programı dersleri için faydalı bulmuş, %78’i kullanımının kolay ve anlaşılır olduğunu söylemiş, esnek değil diyenlerin oranı %48 olarak hesaplanmıştır. Programın aşırı basit olduğunu düşünenlerin oranı %17 iken çok

karmaşık diyenlerin oranı da %26 olarak gerçekleşmiştir.

Uygulama sonuçları, bu ve benzeri programların öğrenciler tarafından ilgi ile karşılandıklarını, kolay uyum sağladıklarını göstermiştir. Anketin programın kullanıldığı ilk derste uygulandığı da göz önüne alındığında belirli bir kullanım ve uyum sürecinin ardından mevcut olumlu sonuçların daha da büyük oranlarda gerçekleşeceği düşünülebilir. Ancak programın Türkçe ve İngilizce seçenekli hazırlanmış olması, öğrencilerin sürekli Türkçe seçeneğinde kullanmaları sonucunu doğurmuş ve İngilizce terimlerin öğretilmesi amacı biraz geri planda kaldığı gözlenmiştir.



Şekil1. Benzetim Yazılımı Ana Penceresi

Tablo 1 Anket Soruları ve Sonuçları

Sorular	1*	2	3	4	5	6	7	8
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Program ilgili derslerimiz için faydalı	26	30	17	4	4	4	13	0
Programın kullanımı kolay, anlaşılır	26	30	22	4	0	4	4	9
Program yeterince esnek değil	13	26	9	17	13	9	9	4
Program aşırı basit	4	9	4	4	13	30	26	9
Program çok karmaşık anlayamıyorum, kullanamıyorum	4	13	9	4	17	22	26	4

\*1:Kesinlikle katılıyorum, 2:Katılıyorum, 3:Biraz katılıyorum, 4:Kararsızım, 5:Biraz katılmıyorum, 6:Katılmıyorum, 7:Kesinlikle katılmıyorum, 8:Cevap yok

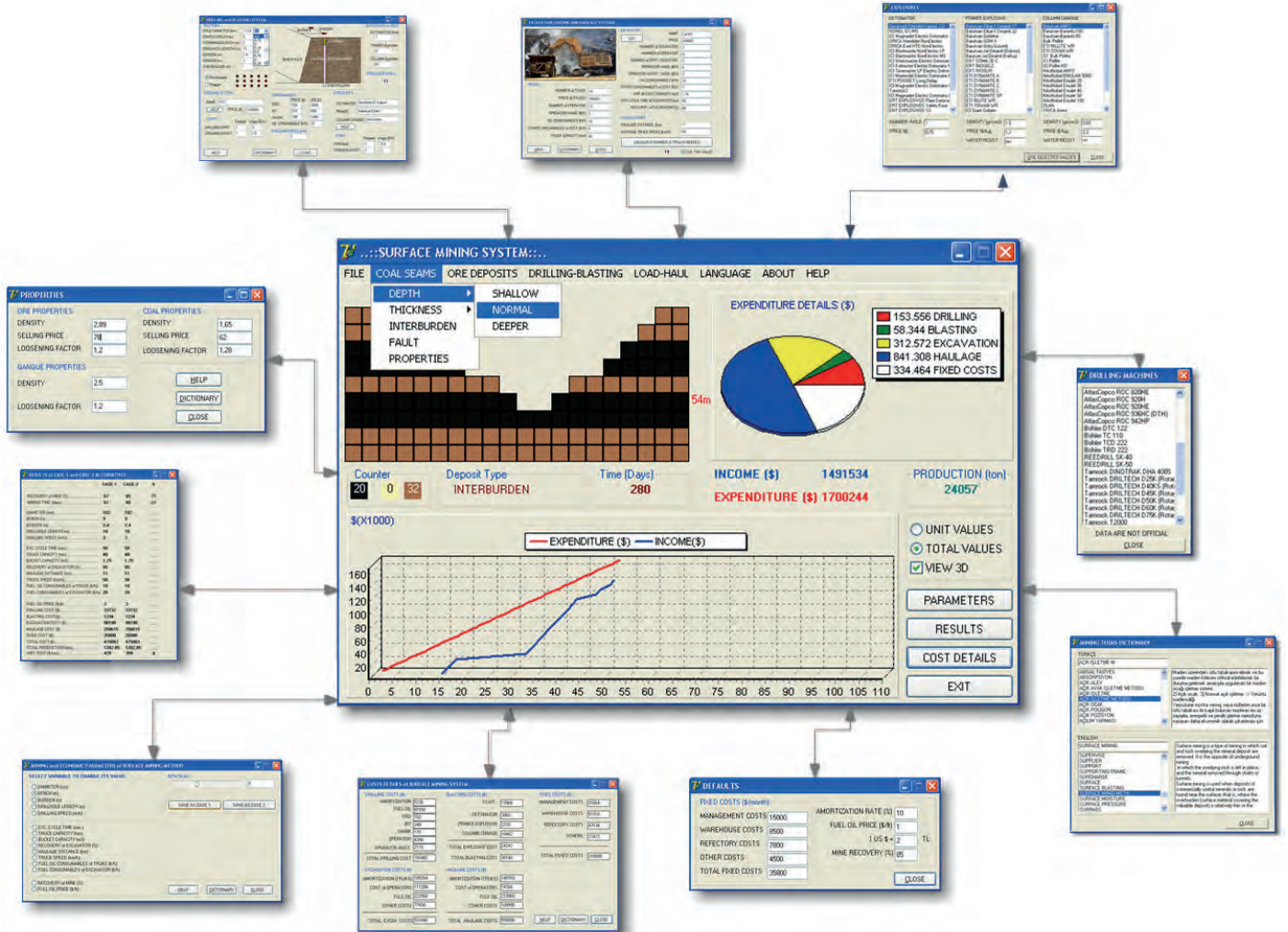
## 2.2 İki Boyutlu Yerüstü Maden Ocağı Yazılımı

Geliştirilen ikinci yazılım, yerüstü maden işletme yönteminin iki boyutlu olarak ekrana yansıtıldığı görsel ağırlıklı bir program olup güçlü bir görsel yazılım geliştirme aracı olan Delphi ile yazılmıştır (Akkoyun, 2009). Program menüleri kullanılarak bir kömür ya da maden yatağı madeni oluşturulabilir. Kömür damarının ince, kalın sığ, derinde, ara kesme içeren veya fay ile ötelenmiş biçimlerini seçmek kullanıcıya bırakılmıştır. Kömür damarı dışındaki maden yatağı seçeneğinde plaser yatak, ince, kalın, dik damar ya da masif yatak seçenekleri mevcuttur (Şekil2).

Bu seçeneklerin altına yerleştirilen rastgele sayı üretici alt yordamlar sayesinde kullanıcı aynı maden yatağı tipini seçse bile her seferinde birbirisinin tamamen aynı olmayacak yatak kompozisyonları oluşturulabilmektedir.

Kullanıcı, bilgisayarın faresi ile eşit karelerden oluşan maden yatağına her tıkladığında eğer eylem kazı kurallarına uygunsu bir kazı işlemi gerçekleşmekte ve bu karenin boyutlarına göre yapılan kazı için gerekli tüm maliyetler ve süre değerleri hesaplanarak anlık olarak ana ekranda yansıtılmaktadır.

Programın en önemli özelliği; iki farklı senaryo kaydı yapılabilmesidir. Bunun anlamı şudur; kullanıcı, yerüstü maden işletme yöntemindeki herhangi bir parametreyi değiştirip diğerlerini sabit tutarak iki ayrı senaryo olarak kayıt yapar, daha sonra madencilik faaliyetlerine (fare ile kazı işlemine) başlar, program tüm hesaplamaları her iki senaryo için ayrı ayrı hesaplayarak sonuçları üretir. Bu sayede kullanıcı, değiştirdiği parametrenin hangi değişkenler üzerinde etkili olduğunu etkilenme oranları ile birlikte görebilir.



Şekil 2. Yazılım Ana ve yardımcı pencereleri (Akkoyun, 2009)



Tablo 2 Anket Soruları ve Sonuçları

Sorular	1*	2	3	4	5
Program pencerelerinin kullanımı kolaydır	9	9	8	8	4
Programının takibi kolaydır	11	8	9	7	3
Veri giriş penceresi kullanışlıdır	7	4	9	11	7
Program içeriği tatmin edicidir	17	10	3	6	2
Sonuç penceresinin anlaşılması kolaydır	13	11	6	6	2
Program öğrenme verimimi artırabilir	15	10	5	5	3
Program öğrenme isteğimi artırabilir	17	11	5	2	3
Program mesleki terimleri öğrenmemde yardımcı olabilir	24	10	0	3	1

\*1:Kesinlikle katılıyorum, 2:Katılıyorum, 3:Kararsızım, 4:Katılmıyorum, 5: Kesinlikle katılmıyorum

Çalışma gerçekleştirildikten sonra Dicle Üniversitesi Maden mühendisliği bölümünde ilgili derslerde kullanılmış ve öğrencilerden programı değerlendirmeleri istenmiştir. Değerlendirme için bir Likert ölçeği kullanılmış ve 38 öğrencinin katıldığı değerlendirmede 8 adet soru sorulmuştur (Tablo2).

### 3 SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Birinci program ile ilgili olarak sorulara verilen cevaplara göre; program ilgili derslerimiz için faydalı diyenlerin oranı %73 gibi büyük bir oranda çıkmıştır. Programı kolay ve anlaşılır bulanların oranı %78 olurken programı karmaşık bulanların oranı sadece %26'da kalmıştır.

İkinci program ile ilgili olarak sorulara verilen cevaplara göre; öğrencilerin yarısından biraz fazlası program pencerelerini ve kendisinin kullanımını kolay bulurken, aksini düşünenlerin oranı %30 dolaylarındadır. İçeriğini tatmin edici bulanların sayısı 27 olup %71 oranına karşılık gelmektedir. Öğrenme verimini artıracağını düşünenlerin oranı %66, öğrenme isteğini artıracağını söyleyenlerin oranı ise %74 olarak bulunmuştur. Programın maden mühendisliğine özgü madencilik terimlerinin İngilizce karşılıklarını öğrenmede de yardımcı olacağını düşünenlerin oranı ise %89 olarak elde edilmiştir.

Gelişen bilgisayar teknolojileri ile birlikte yazılım geliştirmek, görsel araçlar hazırlamak, etkileşimli ortamlar yaratmak ve bunları eğitim-öğretim faaliyetlerinde

kullanmak eskisinden daha kolay hale gelmektedir. Bu konudaki problemlerden birisi eğitim öğretimin uzmanı olan kişinin yazılım geliştirme konusuna uzak olması, yazılım konularına hakim olanların ise eğitim öğretim araçları yerine ekonomik olarak daha avantajlı alanlara yönelmeleridir. Ancak bu olumsuz durum, disiplinler arası ortak çalışmalar ya da geliştirilecek projeler ile aşılabılır. Ayrıca eğitim amaçlı yazılım denildiğinde hemen çok karmaşık araçlar tasarlamaya kalkmak da daha işin başında zorluklar ile karşılaşılmasına neden olabilir. Bunun yerine küçük görsel araçlar ile konu bazlı çalışarak belirli bir zaman sonrasında bu üretilen araçların toplanıp birlikte kullanıldığı ara yüzler tasarlanabilir.

Yapılan çalışmaların sonucunda; gelecekte bu tür araçların nitelik ve nicelik olarak çok artacağı, eğitim öğretim ile ilgili gelecek planları yapanların bu durumu değerlendirerek planlama yapmaları gerektiği değerlendirilmiştir.

### TEŞEKKÜR

Yazılım dünyası ile tanışmama neden olan değerli büyüğüm Oğuz Sönmezer'e teşekkür ederim.

### KAYNAKLAR

- Akkoyun, Ö., 1998, Kömürlük Yerüstü Manyezit Ocağı İşletme Parametrelerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Ü. FBE, Ankara.
- Akkoyun, Ö., 2009. Development of a Visual Courseware for Surface Mining Education, Computer Applications in Engineering Education, Vol. 19 (1)

- Akkoyun, Ö., Careddu, N., 2014. Mine simulation for educational purposes: A case study., *Computer Applications in Engineering Education*, Vol.23 (2)
- Aziz, E., 2011. Teaching and learning enhancement in undergraduate machine dynamics, *Comput Appl Eng Educ* 19, s.244-255.
- Balamuralithara, B., Woods, P.C., 2012. An investigation on adoption of the engineering simulation lab exercise: A case study in Multimedia University, Malaysia, *Comput Appl Eng Educ* 20, s. 339–345.
- Bhargava, P., Antonakakis, J., Cunningham, C. ve Zehnder, A.T., 2006. Web-based virtual torsion laboratory, *Comput Appl Eng Educ* 14, s.1-8.
- Chimenti, D.E., Ochs, S.S., 1999. 3-D simulator for moments of inertia, *Comput Appl Eng Educ* 7, s. 221-226.
- Datta, A.K., Rakesh, V., Way, D.G., 2013. Simulation as an integrator in an undergraduate biological engineering curriculum, *Comput Appl Eng Educ* 21, s. 717-725.
- Deliktas, B., 2011., Computer technology for enhancing teaching and learning modules of engineering mechanics, *Comput Appl Eng Educ* 19, s.421-432.
- Deshpande, A.A., Huang, S.H., 2011. Simulation games in engineering education: A state of the art review, *Comput Appl Eng Educ* 19, s.399–410.
- Erarslan, K., 2007. Geology and mining system (GMS) for computer aided mine valuation, *Comput Appl Eng Educ* 15, s. 78–87.
- Filigenzi, M.T., Orr, T.J., Ruff, T.M., 2000. Virtual reality for mine safety training, *Appl Occup Environ Hyg* 15, s.465-469.
- Fu, T.T., 2003. Applications of computer simulation in mechanism teaching, *Comput Appl Eng Educ* 11, s.156-165.
- Hodouin, D., 2011. Methods for automatic control, observation, and optimization in mineral processing plants, *Journal of Process Control* 21, s. 211-225.
- Kızıl, M., 2003. Virtual reality applications in the Australian minerals industry. *31st Int. symposium on computer in the Minerals Industries* Held under the auspices of the South African Institute of Mining and Metallurgy. Cape Town, South Africa, s.14-16.
- Mallett, L., Unger, R., 2007. Virtual reality in mine training, in SME Annual Meeting, Utah.
- Martinez, E., Carbonell, V., Florez, M., Amaya, J., 2010. Simulations as a new physics teaching tool, *Comput Appl Eng Educ* 18, s.757-761.
- Masala, S. Biggar, K., 2003. Geotechnical Virtual Laboratory. I. Permeability, *Comput. Appl. Eng Educ* 11, s.132-143.
- McClellan, P., Saini-Eidukat, B., Schwert, D., Slator, B., White, A., 2001. Virtual worlds in large enrollment science classes significantly improve authentic learning, in J. A. Chamber, Ed., *Selected Papers from the 12th Intl. Conf. on College Teaching and Learning, Centre for the Advancement of Teaching and Learning, Jacksonville, FL*, s.111-118.
- Ong, S.K., Mannan, M.A., 2004. Virtual reality simulations and animations in a web-based interactive manufacturing engineering module, *Comput Educ* 43, s. 361-382.
- Siller, J.T., Palmquist, M., Zimmerman, E.D., 1999. Technology as a vehicle for integrating communication and team working skills in engineering curricula, *Comput Appl Eng Educ*, 6, s.245-254.
- Squire, K., 2003. Video games in education, *Int J Intell Games and Simulation* 2, s.49-62.
- Sturgul, J.R., 1999. Discrete mine system simulation in the United States, *Int J Mining Reclam Environ* 13, s.37-41.
- Tuncer, S., Tatar, Y., Guldemir, H., 2009. Design and Implementation of an Integrated Environment for Real-Time Control of Power Electronic Systems, *Comput Appl Eng Educ*, 17, s.119-130.
- Vidaurre, A., Riera, J., Gimenez, M.H., Monsoriu, J.A., 2002. Contribution of digital simulation in visualizing physics processes, *Comput Appl Eng Educ* 10, s.45-49.
- Yuan, X.F., Teng, J.G., 2002. Interactive web-based package for computer-aided learning of structural behaviour, *Comput Appl Eng Educ* 10, s.121-136.
- Zhang, R., Yu, D., Li, X., Yao, X., Yiu, L., 2006. Surface mine system simulation and safety risk management, *J China Univ Mining Tech (English Edition)* 16, s.413-415.
- Zueco, J., 2013. An Electric Simulator to Solve Education Engineering problems in Fluid Mechanics, *Comput Appl Eng Educ*, 21, s.748-757.

# Trabzon ili ve Çevresindeki Mermer İşletmelerinin İncelenmesi *Investigation of Marble Quarries in Trabzon Region*

G. Külekçi, A. O. Yılmaz

*Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Trabzon*

**ÖZET** Mermer, başkalaşım (metamorfizma) süreci geçiren ve başkalaşımın izlerini taşıyan kalker dominit gibi bileşiminde en az %95 kalsiyum karbonat bulunan, genellikle yoğunluğu 2,55-2,8 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişebilen, içerisinde bulunan tali minerallerden dolayı çeşitli renklerde olabilen ve kesilip parlatılabilen kayalara verilen isimdir. Ülkemiz dünya mermer rezervlerinin %40'ına sahip olup, her yıl yaklaşık 7 milyon ton mermer işlenmekte ve 1,5-2 milyon atık mermer açığa çıkmaktadır. Ülkemizde ve dünyada inşaat sektöründe mermer kullanımının artmasına bağlı olarak mermer işleme fabrikalarının ve atölyelerinin sayısında hızlı bir artış görülmektedir. İşlenen blokların önemli bir çoğunluğu deniz yolu ile yurt dışına ihraç edilmektedir.

Bu çalışmamızda Karadeniz Bölgesinin önemli ticari limanlarından birine sahip Trabzon İli ve çevresindeki illerinde bulunan mermer ocakları ve mermer şirketleri incelenmiştir. Bu çalışmada mevcut mermer potansiyeli araştırılmıştır. Bu illerde yer alan mermer şirketleri ve çalışma koşulları incelenerek sektöre ve madencilığe katkıları irdelenmiştir.

**ABSTRACT** The marble is the rock which is exposed the metamorphism process and it has at least 95 percent of calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) such as limestone and dolomite. The density of marble can usually be varied between 2.55 and 2.80 g/cm<sup>3</sup>. It can also have different colors because of secondary minerals and can be cut and polished. Turkey has 40 percent of marble reserve of the world. 7-million-ton marble is approximately processed annually and 1.5-2.0-million-ton marble waste occurs in Turkey. It was seen that the number of marble processing plants and workshops have rapidly increased depends on increasing the utilization of marble in construction sector in Turkey and world. The significant amount of marble blocks processed are exported via sea.

In this study, the marble quarries and companies in Trabzon and the cities around Trabzon having one of the significant commercial seaport of Black sea region were examined and the potential of available marble was investigated. The marble companies in these cities and working conditions of there were studied and the contributions to sector and mining were evaluated.

## 1. GİRİŞ

İnsanların uygarlık öncesi ve sonrasında Doğaltaşlar, mekanlarda, yapılarda ve sanatsal tasarımlarda en fazla kullanılan malzeme olmuştur. Modern dünyada, doğaltaş kullanım alanlarının (iç ve dış dekorasyon, kaldırım taşı, dış cephe kaplamacılığı vs.) çoğalması ile birlikte doğal taşlara olan talep artmış ve en cazip sektörlerden biri haline gelmiştir (Yılmaz vd. 2003).

Doğaltaşlardan olan mermer genel olarak iki farklı şekilde tanımlanmaktadır. Oluşum şekline göre, başkalaşım (metamorfizma) süreci geçiren ve başkalaşımın izlerini taşıyan kalker dominit gibi bileşiminde en az %95 kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) bulunan, genellikle yoğunluğu  $2550\text{-}2800 \text{ kg/m}^3$  arasında değişebilen kayalara mermer adı verilir (DPT, 2001). Hakiki mermer olarak da adlandırılan bu kayalar yüksek oranda kalsiyum karbonat, daha az oranlarda magnezyum karbonat ve değişik metal oksitler içeren kayalara mermer denir. Mermerin ikinci tanımı ise; “ticari standartlara uygun boyutlarda blok verebilen,

kesilip parlatılan veya yüzeyi işlenebilen ve taş özellikleri (malzeme özellikleri) kaplama taşı normlarına uygun olan her türden taş (tortul, magmatik ve metamorfik) ticari dilde mermer olarak bilinmektedir. Bu tanım uyarınca kalker, traverten, kumtaşı gibi tortul; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, serpantin, andezit, bazalt gibi magmatik taşlar da mermer olarak isimlendirilmektedir” (DPT, 2001).

Çalışmanın yapıldığı bölge Trabzon ili ve çevre illerdir. Trabzon, Doğu Anadolu'nun kuzeydoğusunda, Karadeniz'in tabii bir limanının kıyısında, Asya ve Ortadoğu transit yolunun başında kurulmuş bir şehirdir. 41 derece kuzey enleminde ve 39 derece 43' doğu boylamında bulunur. Yüzölçümü  $4685 \text{ km}^2$  olan Trabzon ili doğuda Rize, güneydoğuda Bayburt, güneyde Gümüşhane, batıda Giresun illeri, kuzeyde Karadeniz ile çevrilidir (Şekil 1). Trabzon ilinin jeopolitik konumu nedeni ile Trabzon limanı tarih boyunca önem arz etmiştir.



Şekil 1 Trabzon ilinin konumu

## 2. TÜRKİYE'DE MERMERCİLİK ve MERMERLERİN KULLANIM ALANLARI

### 2.1. Türkiye'de Mermer Potansiyeli

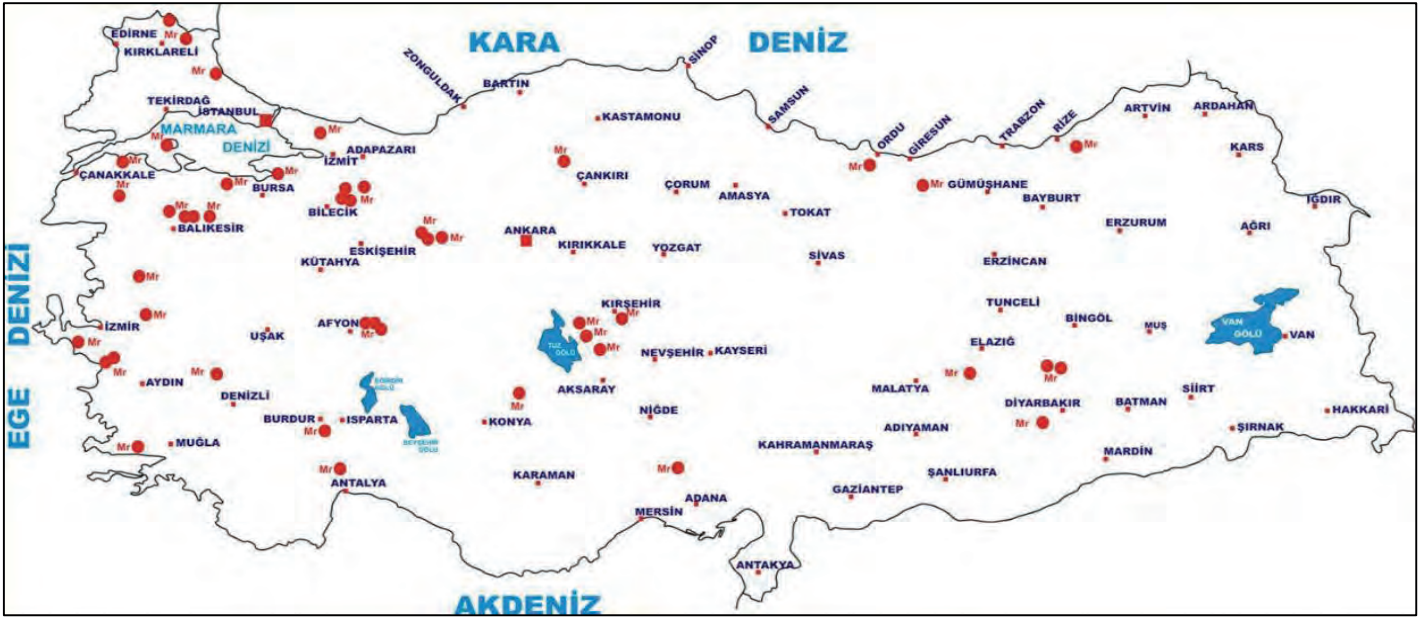
Türkiye genel olarak genç ve birikme zonunda oluşan bir bölgedir. Değişik jeolojik

kuşakların yer aldığı ülkemizde çok zengin doğal taş rezervleri bulunmaktadır. Söz konusu Alp kuşağı çok çeşitli ve büyük miktarda mermer rezervini bulundurmaktadır.

MTA 2011 yılında Türkiye'deki mermer ve traverten açısından görünen ve muhtelif mermer rezervi miktarını 5 milyar tonun

üzerinde olduğunu açıklarken var olan potansiyelin yaklaşık 14 milyar ton olduğunu belirtmiştir. Türkiye'deki mermer yatakları

incelendiğinde mermer yataklarının Türkiye'nin kuzeybatı ve batısında yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Türkiye'nin mevcut mermer rezervleri, (TÜMMER, 2006)

Türkiye genç jeolojik yapısı, doğal taş ve mermer çeşitliliği, rezerv büyüklüğü ile dünya doğal taş piyasasında önemli bir yere sahiptir. Türkiye'nin toplam mermer rezervi dünya mermer rezervlerinin %40'ını oluşturmaktadır.

En önemli rezervler Anadolu ve Trakya boyunca geniş bir bölgeye yayılmıştır.

- Batı Anadolu'da İzmir, Tire, Torbalı, Selçuk, Afyon, Eskişehir, Uşak, Muğla ilindeki Milas, Yatağan ve Kavaklıdere çevresinde
- Trakya Bölgesi'nde Kırklareli, Dereköy ve Kafçaz'da
- Doğu Karadeniz Bölgesi'nde, Bayburt Gümüşhane ve Ordu,
- Doğu Anadolu Bölgesi'nde ise Bitlis ve Elâzığ çevresinde kaliteli mermer ve granit yatakları bulunmaktadır. (Url 1)

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde başta granit olmak üzere önemli ölçüde doğal taş rezervleri bulunmaktadır (Ersoy vd., 2009; Özdemir, 2009). Türkiye'nin en büyük granit batolitinin bulunduğu bölgedeki doğal taş yataklarının çoğu magmatik kayalardan oluşmaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesi özellikle granit açısından son derece yüksek potansiyeli ile gelecek vaat vermektedir. Bilinen doğal taş sahalarının toplam rezervi

250 milyon m<sup>3</sup> (435 milyon ton) seviyesindedir (Çizelge 1). Bu doğal taş rezervinin yaklaşık değeri 90 milyar dolar civarındadır.

Çizelge 1. Doğu Karadeniz Bölgesinin Doğal Taş Potansiyeli



## 2.2. Mermerin Kullanım Alanları

Estetik ve dayanıklılığı sebebiyle doğal taşlar içerisinde en fazla kullanılanı mermerdir. Mermerler başlıca kullanım alanları; Maden sektörü, inşaat sektörü, dekorasyon, heykeltçilik, süs eşyalarının yapımı ve mezarcılıktır.

Yeraltı madenciliğinde son zamanlarda sıklıkla kullanılmaya başlayan macun dolguda dayanımı artırıcı ve oksidasyonu

geciktirici olarak mermer ve mermer atıkları kullanılmaktadır (Küleki, 2013).

İnşaat sektöründe bloktan üretilen plakalar ve diğer boyutlu ürünler, binaların iç ve dış kaplamasında, taban döşemesinde, merdiven basamaklarında, şömine, mutfak ve banyolarda, taşıyıcı sütunlarda kullanılır. İç dekorasyonda masa, sehpa, biblo, avize, kül tablası vs. ürünlerin yapımında önemli miktarlarda özellikle damarlı mermer, renkli mermer, oniks mermeri ve yeşil somaki tüketilmektedir. Sanat malzemesi olarak anıtlar ve heykellerde ise en değerli mermer türü olan arı beyaz renkli ve düzenli tane yapılı mermer kullanılmaktadır (Kısmen ve Tan, 2011).

Doğal taşlar süsleme ve estetik kullanımlarının yanı sıra dayanıklılıkları, atmosferik şartlar ve çevre kirliliği nedeniyle granit gibi sert taşlar özellikle metro, havaalanları, otobüs terminallerinde, gökdelen ve ticaret merkezlerinin yapımında kullanılmaktadır. (Url 2)

Mermer yüksek oranda kalsiyum karbonat içerdiği için kimya, yem ve gübre alanlarında, karayolu, beton asfalt ve son kat dolgu malzemesi olarak çok sık kullanım alanı bulmuştur. Ayrıca blok halinde üretilemeyen parça kırıntılarında paledyen, mozaik ve suni mermer yapılmaktadır. Mermer tüketimi ülkelerin refah düzeyi ile de orantılıdır. Özellikle tüketimin inşaat sektöründe yoğunluklu olduğu göz önünde bulundurulursa, ve Karadeniz bölgesindeki inşaat yatırımlarının son yıllarda hızlı bir şekilde arttığı dikkate alınırsa Trabzon ili ve çevresinde bulunan mermer ocaklarının önemin arttığı görülebilir. Ayrıca Trabzon limanının uluslararası bir liman olması açısından bu bölgede üretilen mermerlerin ithalatını da daha kolaylaştıracaktır.

### 2.3. Türkiye’de Mermer Çeşitleri

Dünya üzerinde ticari olarak belli boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılan veya yüzeyi işlenebilen ve taş özellikleri normlarına uygun olan her türden taş (tortul, magmatik ve metaformik) ticari dilde mermer olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımdan dolayı mermerler birçok parametreye (mineral

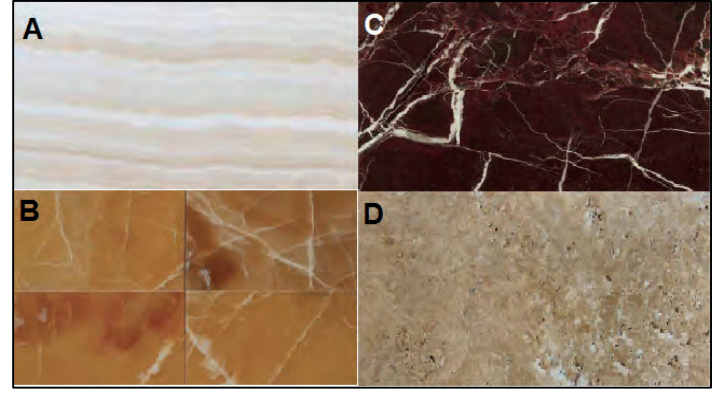
bileşim ve oranlarına, mineral tane boyutlarına, yapı ve dokularına, mineralojik oluşuma, ekonomik şartlara, ticari pazara ve renge.. vb.) göre sınıflandırılırlar (Çizelge 2).

Mermer çeşitliliği konusunda Türkiye oluşum evreleri ve barındırdığı jeolojik çeşitlilik sayesinde yaklaşık 290 çeşit mermer bulunmaktadır. Bu mermerlerin ticari anlamda sürekliliği olan yapısal olarak 80, renk ve desen açısından 120’nin üzerindedir değişik mermer rezervi bulunmaktadır (Erkek ve Özdemir, 2011). Çeşitliğin bu derece fazla olması nedeni ile mermerlere üretildiği yer ve rengine göre isimlendirilmektedir. Türkiye’de bulunan başlıca mermer çeşitleri çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 2. Mermerlerin sınıflandırılması; Tosun, 2007

Sınıflandırm a Biçimi	Sınıflar
<b>Mineral Bileşim ve Oranlarına Göre</b>	<p><b>Mermer:</b> % 95 Kalsit (CaCO<sub>3</sub>) içerir. Masif yapıda ve taneli dokuya sahiptir. Kuvars ve mika gibi tali mineralleri içerir</p> <p><b>Kalkşist:</b> % 60-70 Kalsit içerir. Şisti yapıda ve yönlü dokuya sahiptir. Klorit, epidot, mika ve lepidolit gibi tali mineralleri içerir.</p> <p><b>Spolen:</b> % 80 Kalsit içerir. Şisti yapıda ve yönlü dokuya sahiptir. Flonapit, tremotil, diopsit, plajioklas ve gröna gibi tali mineralleri de içerir.</p> <p><b>Mermer-Skarn:</b> % 80-90 Kalsit içerir. Masif yapıda ve taneli dokuya sahiptir. Epidot, diopsit, gröna, olivin, plajioklas diğer tali minerallerdir.</p>
<b>Mineral Tane Boyutlarına Göre</b>	<p><b>İnce taneli mermerler:</b> Tane boyutu 1 mm’den küçük mermerlerdir.</p> <p><b>Orta taneli mermerler:</b> Tane boyutu 1-5 mm arasındaki mermerlerdir.</p> <p><b>İri taneli mermerler:</b> Tane boyutu 5 mm’den büyük mermerlerdir.</p>
<b>Yapı ve Dokularına Göre</b>	<p><b>Masif mermer:</b> Kompakt görünümlü ince ve iri tanelidir.</p> <p><b>Laminal mermer:</b> Renkli şerit görünümde, ince tanelidir.</p> <p><b>Şisti mermer:</b> Yapraklı yapıda ve önemli miktarda mika içermektedir.</p> <p><b>Breşik mermer:</b> Kırıklanmış ve ikincil minerallerle dolgulanmış mermerlerdir.</p>

<b>Mineralojik Oluşuma Göre</b>	<p><b>Sedimanter mermerler:</b> Bu tip mermerler çeşitli kayaların parçalanıp taşınarak uygun bir ortamda birikip çimentolanması sonucu oluşan konglomera, breş, puding ve suda erimiş halde bulunan kalsiyum ve magnezyum karbonatın kimyasal ve fiziksel şartların değişmesi sonucunda oluşan traverten, oniks mermerlerinden oluşurlar.</p> <p><b>Mağmatik mermerler:</b> Yerkabuğunun altındaki magmanın yeryüzüne çıkması veya yerkabuğuna sokulması sonucu oluşmuş granit, siyenit, serpantin, diyabaz, bazalt, andezit, gabro gibi kayalardır.</p> <p><b>Metamorfik mermerler:</b> kayaların fiziksel ve kimyasal şartlar altında minerallerinin daha farklı bir durumuna gelmesi ile oluşan kayalardır. Hakiki mermerler, gnays, şist, kuvarsit gibi kayalardır.</p>
<b>Ekonomik Şartlara Göre</b>	<p><b>Normal mermerler:</b> Mermer, dolomit, konglomera gibi</p> <p><b>Sert mermerler:</b> Granit, serpantin, diyabaz gibi</p> <p><b>Traverten ve oniks mermerler</b></p>
<b>Ticari Pazara ve Renge Göre</b>	Bu sınıflandırma şeklinde mermer bulunduğu yerleşim yerine ve mermerin rengine göre sınıflandırılır. (Afyon Şeker, Gölpazarı Bej, Marmara Beyazı gibi)



Şekil 3. Doğada bulunan genel mermer çeşitleri a) Onyx b) Renkli ve Damarlı Mermer c) Su Mermerleri d) Traverten

### 3. TRABZON İLİ VE ÇEVRESİNDE BULUNAN MERMER OCAKLARI VE ÖZELLİKLERİ

#### 3.1. Bölgenin Jeolojik Yapısı

İnceleme alanı Trabzon ve çevresinin yer aldığı doğu karadeniz bölgesi jeolojik olarak bakıldığında Doğu Karadeniz provensi boyunca volkanojenik masif ve damar tip sülfür yatakları ile ilişkili durumda yaygın ve yoğun hidrotermal alterasyon gözlenmektedir. Doğu Karadeniz'in genel yapısını oluşturan Pontidler, Anadolu'nun tektonik birliklerinden biri olup, kuzeyde Karadeniz kıyı dağları ile Marmara Bölgesi, Ege Kıyıları ve Karaburun yarımadasına kadar uzanan Kuzey Batı Anadolu bölgesini kapsar (Ketin, 1966).

Pontidlerde yaygın olarak gözlenen Üst Kretase-Eosen volkanikleri, Tokel'e (1977) göre kuzeye doğru dalan (Lütesiyen) bir yitim zonundan türemiş adayayı ürünüdürler ve kalkalkalen karakterli, silisçe doygun, sodik ( $Na_2O > K_2O$ ) ve  $Al_2O_3$ 'ce zengindirler.

Genel anlamda farklı jeolojik karakterler sunan Doğu Pontidler kuzey ve güney zon olarak ikiye ayrılmıştır. Her iki zonda da değişik yaş ve litolojik özelliklerde kayaç toplulukları yüzeylemiştir. Kuzey zonda volkanik, güney zonda ise plütonik ve sedimanter kayalar egemendir (Karakaya vd., 2007).

Çizelge 3: Türkiye'deki ticari isimli mermer çeşitleri

Afyon Beyaz	Elâzığ Petrol Yeşili	Karacabey Siyahı
Burdur-kahverengi-Bej	Osmaniye Vişne	Kırşehir Beyazı
Denizli Pembe	Milas Leylak	Efes Güneşi (Balıkesir)
Kumru Türü	Menekşe	Afrodit
Leopar	Kaplan Postu	Elâzığ Siyah İnci
Kastamonu Eflani	Bilecik Pembe-Gül Kuruşu	Elâzığ Vişne

Ticari isimlerin yanında doğada bulunma şekillerine göre mermerler genel olarak beyaz mermer, onyx, renkli ve damarlı mermerler, travertenler, su mermerleri, diğer mermerler olmak üzere 6 şekilde bulunur (Şekil 3).

### 3.2. Trabzon İli ve Çevresinde Bulunan Mermer Çeşitleri

Mermerler değişik koşul ve şartlarda oluşmaktadır ve çok çeşitlilik göstermektedir, bundan dolayı çeşitli kriterler göz önünde bulundurulmuş çeşitli isimlendirme şekilleri mevcuttur.

Türkiye’de doğal taşlar kapsamında çeşitli renk ve desenlerde kristalize kireçtaşı (mermer), kalker, traverten, traverten oluşumlu kalker (oniks), kireç taşları magmatik kökenli kayalar (granit, siyenit, diyabaz, diyorit, serpantin, vb.) ve püskürük türü kayalar grupları (ignimbirit, andezit, bazalt, tüf ve türevleri vb.) bulunmaktadır. Bu kayalar grupları; oluşum sınıflarına göre 4 ana başlık altında toplanmıştır (Erkanol ve Aydınadağ 2013).

1. Metamorfik Kökenli Doğal Taşlar: Kristalize kireçtaşı

2. Sedimanter Kökenli Doğal Taşlar: Mikritik kökenli kireçtaşları, iskelet kökenli kireçtaşları

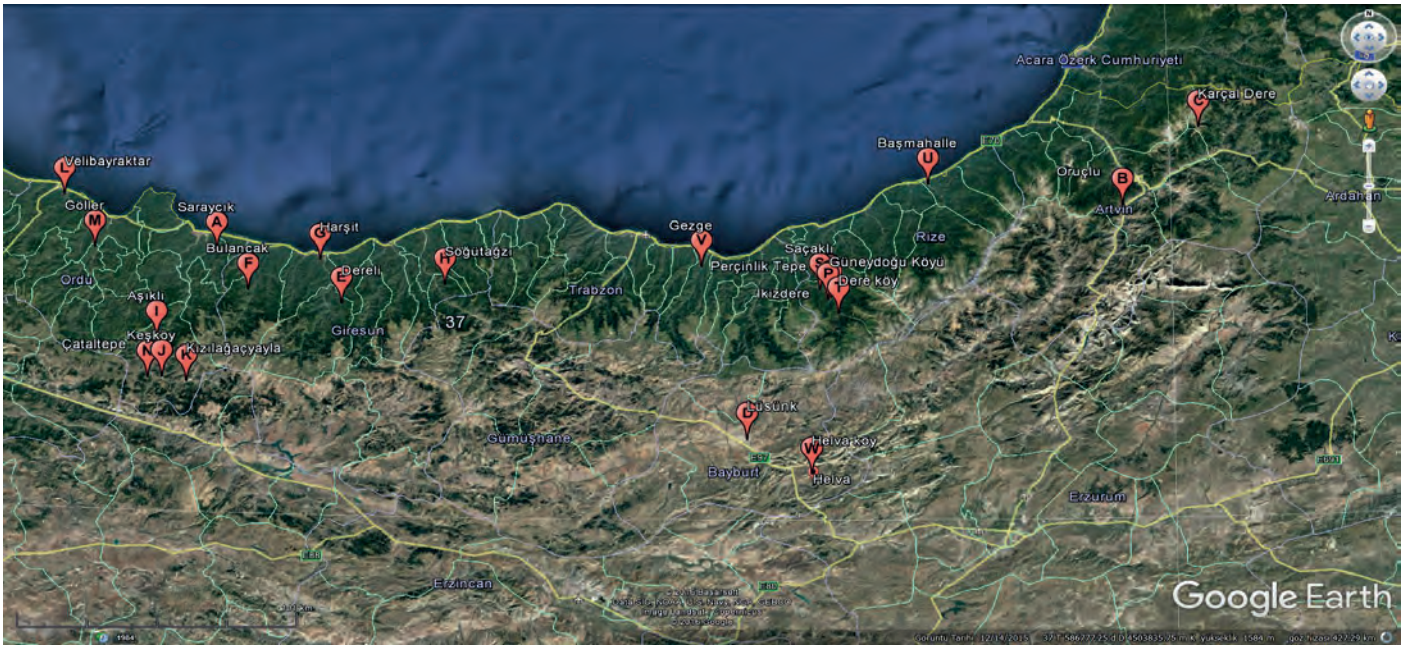
3. Mağmatik Kökenli Doğal Taşlar: Derinlik kayaları

4. Volkanik Kökenli Doğal Taşlar: Püskürük kayaları

Trabzon ili ve çevresinde bulunan mermerler genel olarak Sedimanter, magmatik ve volkanik kökenli kayalardır. Bunlara ek olarak Gümüşhane; Bayburt ve Erzurum da yüksek oranda traverten mevcuttur.

### 3.3. Bölgede Bulunan Mermer Ocakları ve Özellikleri

İncelenen bölge önemli derecede mermer rezervine sahiptir. Bölgede yaklaşık 20 tane aktif mermer ocağı bulunmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Trabzon ili ve çevresindeki mermer ocakları

Bu mermer ocaklarından bilinen mermer sahalarının toplam rezervi 435 milyon ton seviyesindedir. Bu doğaltaş rezervinin yaklaşık değeri 90 milyar dolar civarındadır (Yılmaz vd. 2003).

Trabzon ve çevresinde ki alanlarda tespit edilen toplam rezerv 246 milyon m<sup>3</sup>'tür. Rezervin % 88,32 gibi önemli bölümünü granit, % 7,8'ini kireçtaşı, % 3.86'sını traverten ve çok az (% 0,02) kısmını da metamorfik yataklar oluşturmaktadır.

Rezervin illere göre yaklaşık dağılımı ise şöyledir: Rize 32 milyon m<sup>3</sup> (%13), Trabzon 15 milyon m<sup>3</sup> (%6), Bayburt 8 milyon m<sup>3</sup> (%4), Giresun 115 milyon m<sup>3</sup> (%47), Ordu 64 milyon m<sup>3</sup> (%26) ve Gümüşhane 9 milyon m<sup>3</sup> (%4) (Yılmaz 2003).

Trabzon çevresinde bulunan mermerler ocakları oluşum şartlarına göre başlıca sedimenter, volkanik, magmatik ve traverten şeklinde yer almaktadır.;



### 3.3.1. Sedimanter kökenli mermerler;

Ülkemizin her bölgesinde rastlanan, blok üretimi açısından ülkemiz açısından önde gelen mermer kaynaklarıdır. Sedimanter

kökenli mermerler bej, krem gibi çeşitli renklerde olabilmektedirler. Bu yapılar bol fosilli, geniş yayımlı ve büyük rezervleri mevcuttur (Şekil 5).



Şekil 5. Türkiye “Sedimanter kökenli” Mermerlerin Dağılım Haritası (Erkanol ve Aydınadağ 2013)

Trabzon ili çevresinde sedimanter kökenli mermer yatakları Giresun ilinde görülmektedir. Geniş bir sahanın hâkim olduğu yapının başlıca üretim yapılan mermer ocakları;

- Giresun Dereli Mermer ocağı
- Giresun Söğütağzı-1 Mermer ocağı
- Giresun Söğütağzı-2 Mermer ocağı

Giresun Söğütağzı-2 Mermer ocağında; Giresun Vizon ticari isimli sedimanter mermer çıkarılmaktadır. Kategorisi siyah granit kategorisindedir. Yoğunluğu 2,638 g/cm<sup>3</sup>tür (Şekil 6).



Şekil 6. Giresun bölgesinde bulunan sedimanter kökenli mermer örneği Vizon

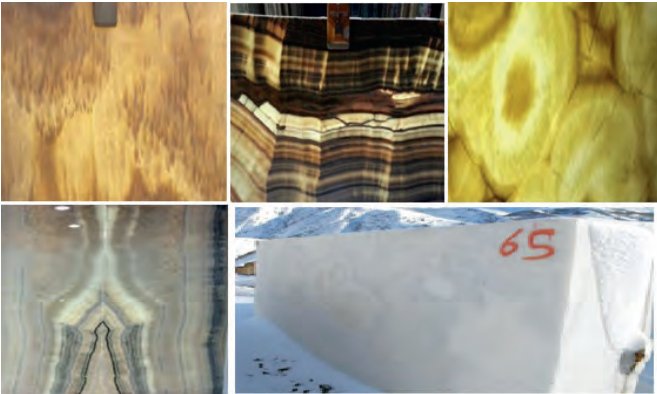
### 3.3.2. Magmatik ve Volkanik kökenli mermerler;

Magma hareketleri sonucu oluşan yapılardır. Magmanın derinliklerde soğuyarak yada yüzeye çıkıp püskürmesi sonucu oluşan ürünlerdir. Bunlar çok sert olmasına karşın kolaylıkla blok verme özelliği vardır. Genel olarak; andezit, bazalt, trakit, riyolit vb. olarak adlandırılmış yapılar genel olarak koyu renklidirler. Yıpranma ve aşınmaları oldukça güç olan bu mermer türleri genel olarak dekoratif amaçlı kullanılmaktadır. Magma kökenli bu kayalar Trabzon, Giresun ve Ordu illerinde dağılım göstermektedirler (Şekil 7).



Şekil 7. Türkiye “Volkanik Kökenli Doğal Taşlar” Dağılım Haritası (Erkanol ve Aydınadağ 2013)

- Bayburt Yaylapınar Onyx Ocağı;
  - Ordu Saraycık mermer Ocağı,
- magmatik kökenli mermer ocağı olan saraycık ocağında ticari ismi Grey Onyx, Grey Bubble Onyx, White Bubble Onyx, Lifora onyx, Velutto onyx olan blok mermerler üretilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Bayburt ve Ordu illerinde bulunan magma kökenli mermerler

### 3.3.3. Traverten

Çalışma alanımızın büyük bir çoğunluğunu oluşturan traverten yapısı esas itibari ile  $\text{CaCO}_3$  olup,  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{HCO}^{-3}$  ce zengin yer altı sularının genellikle bir faydan, çatlaktan ya da yarıktan yeryüzüne çıktıkları yerde fizikokimyasal, biyokimyasal olarak bünyelerindeki  $\text{CaCO}_3$  çökeltmesiyle oluşmaktadır. Traverten yapısı Ordu, Giresun, Gümüşhane, ve Bayburt illerinde geniş bir yayılım göstermektedir (Şekil 9)



Şekil 9- Türkiye “Traverten Sahaları” Dağılım Haritası (Erkanol ve Aydınadağ 2013)

- Giresun Dereli Kuzalan Traverten Ocağı;
- Giresun Yağlıdere Çağlayan Traverten Ocağı;
- Gümüşhane Kıratlı ve Yaylapınar Traverten ocakları
- Gümüşhane Bahçecik Traverten Ocağı; Gümüşhane Bahçecik traverten ocağında üretime 2004 yılında başlanmıştır. Gümüşhane medium-light traverten ticari adıyla üretilmekte olan traverten, hem iç hem dış piyasaya işlenerek ya da blok olarak satış yapılmaktadır.
- Gümüşhane Kalecik Traverten Ocağı; Gümüşhane Torul-Kalecik traverten ocağında 2006 yılında üretime başlanmıştır. Açık krem rengi olan bu ocakta onyx karışımı travertende çıkmaktadır. Bu ocakta Gümüşhane Light Traverten adıyla üretilen travertenler iç ve dış pazarlara sunulmaktadır.
- Gümüşhane Kov Köyü Ocağı; Vişne renginde çıkarılan mermerler çok fazla kırıklı yapıya sahip olduğu için blok halinde üretimi oldukça zordur Bu yüzden ölçek ekonomisine göre fiyatlandırılıp müşterilerin hizmetine sunulmaktadır.
- Bayburt Traverten Ocağı: Bayburt traverteninin üretildiği ocaktır. 2010 yılında üretime başlamıştır. Aynı yıl içinde Çin' e ihracat yapmıştır. Toplam görünür rezervi 75.000 m<sup>3</sup>' tür.
- Gümüşhane ili, Kalecik mevkiinde bulunan Light Traverten ocağında açık bej renkli ve su yolları belirgin, Türk kesimine (Vein Cut) son derece uygun katraklık ve estelik traverten üretimi yapılmaktadır. Traverten yurt içi ve yurt dışında büyük ilgi görmektedir. Üretimin %80'lik kısmı dünyanın dört bir yanında ki alıcılara ihraç edilmektedir. Ayrıca ocağın Trabzon limanına sadece 1,5 saatlik mesafede olması nakliye için büyük avantaj sağlamaktadır.

#### 4. SONUÇ

Gelişen sanayi ve inşaat sektörü ile beraber mermer tüketiminde önemli bir artış görülmektedir. Gerek süsleme- dekoratif amaçlı gerekse yalıtım ve kaplama amaçlı kullanılan mermerdeki bu tüketim artışı

üretimde de doğal bir atış oluşturmuştur. Mermer sektöründe yaşanan teknolojik yenilikler ve yapılan yurt içi - dışı ticari anlaşmalar mermer üretiminin ekonomik olarak üretme ve pazarlama anlayışını artırmıştır.

Çalışmanın yapıldığı Trabzon ili ve çevresinde bulunan mermer ocakları, Trabzon ticari limanı sayesinde hızlı ve ekonomik olarak ürettikleri mermeri pazarlama imkanı bulabilmektedirler.

Günümüzde denizyolu taşımacılığı, en güvenilir ve en ekonomik (en düşük maliyetli) taşımacılık türü olması dolayısıyla dünyada en çok kullanılan ve rekabetin yoğun olduğu bir taşımacılık şeklidir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de mermer sektöründe uluslararası ticaretin çok önemli bir bölümü denizyolu taşımacılığı ile gerçekleştirilmektedir.

Trabzon Limanının dan pazarlanan mermer potansiyeli incelendiğinde yaklaşık 26 tane aktif saha olduğu görülmektedir. Bu ocaklardan 3 tanesi Giresun ilinin de bulunan sedimanter kökenli mermer ocaklarıdır.

Çalışılan bölgede 4 tane magmatik ve volkanik kökenli mermer ocağı mevcuttur bunların 1 tanesi Bayburt ilinde 3 tanesi de Ordu ilinde yer almaktadır.

Ayrıca Trabzon ili ve çevresinde toplam 10 tane traverten mermer ocağı bulunmaktadır ve bunların %80 ni üretim yapmaktadır.

Bu mermer ocaklarından bilinen mermer sahalarının toplam rezervi 435 milyon ton seviyesindedir.

Görüldüğü gibi bölgede ki aktif mermer yataklarının geliştirilmesi ve muhtemel rezervi olan kaliteli mermer ocaklarının üretime geçirilmesi bölgeye çok ciddi bir ekonomik kalkınma hızı katacaktır. Rezerv değerlerinin ciddi aramalarla artma ihtimali çok fazladır.

Bölgenin kalkınması, zengin maden potansiyelinin üretime dönüştürülmesinden geçmektedir. Son yıllarda madencilik sektörünün yükselen yıldızı mermer sektörünün Bölgenin kalkınmasındaki rolü çok iyi algılanmalı, yatırımların özellikle bu kesime kaydırılması hayati önem taşımaktadır.

## 5. KAYNAKLAR

- DPT 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu,.
- Erkanol D. ve Aydınadağ A., 2013. Türkiye Geneli Doğal Taş Potansiyel Alanlarının Belirlenmesi Projesi, MTA Ekonomi Bülteni, 147-156, Ankara,
- Erkek D., Özdemir S., 2011. Mermer ve Traverten Sektörüne Küresel ve Bölgesel Yaklaşım (yayımlanmamış)
- Ersoy, H., Özdemir, A., Yalçınalp, B., 2009. Geology and geotechnical properties of kalecik (Gümüşhane) travertines. Proceedings of The 21st International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 639-648.
- Karakaya N., Karakaya M. Ç. ve Faure K., 2007, Doğu Karadeniz Bölgesi Kil Mineralleşmelerinin Oluşumu ve Kökeni, S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi, c.23, s.1-2,
- Ketin, İ., 1966, Anadolu'nun tektonik birlikleri, MTA Bülteni, 66, 20-34.
- Kısmın Z. A., Kan Ö. D. 2011. Fırat Kalkınma Ajansı Elazığ Mermer Raporu, Sektörel Araştırmalar Serisi-2.
- Külekçi G., 2013. Mermer ve tuğla atıklarının macun dolguda kullanılabilirliğinin araştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon
- Özdemir, A., 2009. Kalecik (Gümüşhane) Travertenlerinin Fiziko-Mekanik Özellikleri ve Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Yüksek Lisans Tezi, 69 s. (yayımlanmamış).
- Tokel, S., 1977. Doğu Karadeniz Bölgesinde Eosen yaşlı kalkalkalin andezitler ve jeotektonizma. TJK Bült., 20: 49-54.
- Tosun, A., Türkiye'nin Mermer İhracatını Arttırma Olanaklarının Araştırılması, 2007.
- Türkiye Mermer, Doğal Taş ve Makinaları Üreticileri Birliği (TÜMMER), 2006
- URL 1 , [www.ito.org.tr](http://www.ito.org.tr) ,İstanbul Ticaret Odası.
- URL 2, <http://docplayer.biz.tr/2908908-Turkiye-geneli-dogal-tas-potansiyel-alanlarinin-belirlenmesi-projesi.html>
- Yılmaz A.O., Çavuşoğlu İ., Alp İ., Kaya R., Vıçıl M. 2003. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin Doğaltaş Potansiyeli ve Doğaltaş İşletmeciliği ile ilgili sorunlar, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem'2003) Bildiriler Kitabı .

# Madencilik Amaçlı Orman İzinlerinin Türkiye ve Dünyadaki Mevzuat Uygulamalarının Karşılaştırılması

## *Comparison of Legislation Implementation Regulatory Practices for Turkey and World in Terms of Forestry Permits for Mining Activities*

M. Aktan

*Maden Y.Mühendisi, TKİ Kurumu Genel Müdürlüğü, Ankara*

N. Çimen

*Maden Mühendisi, EÜAŞ Afşin Elbistan Linyitleri İşletme Müdürlüğü, Elbistan*

Y. Özçelik

*Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara*

**ÖZET** Bu çalışmada, Türkiye’de madencilik faaliyetleri kapsamında verilen orman izinleri ile madencilikte ileri olan Kanada, Avustralya ve ABD gibi diğer ülkelerdeki orman izinlerinin mevzuat uygulamalarının karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırmaya tabi tutulan ülkelerin madencilik amaçlı orman izinleri ve ödedikleri vergi ve ücretler yönünden incelemesi yapılmış, yapılan incelemeler sonucunda Türkiye’deki mevcut durumla nihai kıyaslaması yapılmıştır. Yapılan kıyaslamalar sonucunda, Türkiye’de madencilik faaliyetleri yapılabilmesi için alınması gerekli olan orman izinlerinin Kanada ve bazı diğer ülkelerde olduğu gibi ücretsiz ya da çok küçük ücretlere tabii olmadığı, önemli miktarlarda bedel tahsisi yapıldığı tespit edilmiştir.

**ABSTRACT** In this study, a comparison of legislation implementation regulatory practices has been made in terms of forestry permits for mining activities for Turkey and for such countries like Canada, Australia and USA that are developed in mining. The countries’ forestry permits regulatories and forestry charges and forestry taxes amounts investigated for mining activities and after those investigations the results compared to existing practices in Turkey. Comparing to Turkey to Canada and other developed countries in mining, the taxes and charges for forestry permits in Turkey aren’t free even much more expensive than the other countries.

## 1 TÜRKİYE

### 1.1 Türkiye’de Madencilik

Ülkemizin karmaşık jeolojik ve tektonik yapısı çok çeşitli maden yataklarının bulunmasına olanak sağlamıştır. Günümüzde dünyada yaklaşık 90 çeşit madenin üretimi yapılmaktayken ülkemizde 60 civarında maden türünde üretim yapılmaktadır. MTA verilerine göre, dünyada 132 ülke arasında toplam maden üretim değeri itibarıyla 28’inci sırada

yer alan ülkemiz, maden çeşitliliği açısından ise 10’uncu sırada bulunmaktadır.

Başta endüstriyel ham maddeler olmak üzere, bazı metalik madenler, linyit ve jeotermal kaynaklar gibi enerji ham maddeleri açısından ülkemiz zengindir. Dünya endüstriyel ham madde rezervlerinin % 2,5’i; kömür rezervlerinin % 1’i; jeotermal potansiyelinin % 0,8’i ve metalik maden rezervlerinin % 0,4’ü ülkemizde bulunmaktadır. Ülkemizin zengin olduğu madenler arasında ise ilk sırayı dünya rezervlerinin % 72’sini oluşturan bor mineralleri almaktadır. Ancak, birkaç maden dışında dünya ölçeğindeki rezervlerimiz kısıtlıdır [1].

## 1.2 Türkiye'nin Orman Varlığı

Türkiye yaklaşık olarak 80 milyon hektar yüzölçümüyle, dağlık ve eko coğrafya bakımından zengin bir çeşitliliğe sahiptir. Bu ekolojik zenginliğe paralel olarak ormanları da tür ve kompozisyon olarak zengindir. 2012 yılı itibarıyla yapılan tespitlere göre ormanlar, ülke yüzölçümünün %27,6'sını kaplamaktadır [2].

Arazi Kullanımı	Alan (ha)	(%)
Orman	21.678.134	27,6
Mera	14.617.000	18,6
Su Alanları	1.050.854	1,4
Tarım	24.437.000	31,1
Diğer (*)	16.751.482	21,3
<b>Genel Alan</b>	<b>78.534.470</b>	<b>100</b>

**Şekil 1.** Türkiye’de Arazi Kullanım Sınıflarının Ülke Yüzölçümüne Oranı

## 1.3 Türkiye’de Madencilik ve Orman İzinleri

Ülkemizde devlet ormanlarında madencilik faaliyetleri için izin hükümleri 6831 Sayılı Orman Kanununun 16. maddesinde düzenlenmiştir ve orman izinleri bu maddeye ilişkin olarak 18.04.2014 tarih ve 28976 sayılı resmi gazetede yayımlanmış olan “Orman Kanunu’nun 16. Maddesinin Uygulama Yönetmeliği” ne göre yürütülmektedir. Orman Kanunu’nun 16. Maddesi Devlet ormanlarında ve Devlet ormanları sınırları içindeki “tohum meşcereleri, gen koruma alanları, muhafaza ormanları, orman içi dinlenme yerleri, endemik ve korunması gereken nadir ekosistemlerin bulunduğu alanlarda” madencilik faaliyetlerine izin verebilmektedir.



**Şekil 2.** Orman İznine Tabi Ağaçlandırma Bedeli Ödenen Formasyon (Hani-Diyarbakır)

Türkiye’de hazineye ait orman ve orman sayılan arazilerde madencilik faaliyetleri yapılabilmesi için izin alınacak arazinin bağlı bulunduğu Orman Bölge Müdürlüğü’nden izin alınması gerekli olup, orman izinleri Kanada ve bazı diğer ülkelerde olduğu gibi ücretsiz ya da çok küçük ücretlere tabii olmayıp, önemli miktarlarda bedel tahsisi yapılmaktadır. Madencilik faaliyetlerinin ilk başında bir kereliğine mahsus ağaçlandırma ve teminat ücretleri alınırken, devam eden faaliyet yıllarında yıllık arazi izin bedelleri tahsis edilmektedir. Ağaçlandırma ücretleri her yıl için değişmekte olup, yıllık olarak genellikle asgari ücret zammı oranında artırılmaktadır.

Orman Genel Müdürlüğü tarafından 2016 yılı için belirlenen ağaçlandırma bedeli 16.140 TL / hektar ya da 1,61 TL / m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Teminat ve devam eden yıllar için arazi izin bedeli hesaplanırken bu ağaçlandırma bedeli kullanılır.

Teminat ve Arazi İzin Bedelleri yukarıda formüllerde verildiği gibi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\text{Teminat Bedeli (TL)} = \text{İzin Alanı (m}^2\text{)} \times \text{Ağaçlandırma Bedeli (TL/m}^2\text{)} / 10$$

$$\text{Arazi İzin Bedeli (TL)} = \text{İzin Alanı (m}^2\text{)} \times \text{Ağaçlandırma Bedeli (TL/m}^2\text{)} \times \text{İzin Türü Katsayısı} \times \text{Ekolojik Denge Katsayısı} \times \text{İl Katsayısı}$$

İzin türü katsayısı maden arama, işletme ve alt yapı tesis olarak 3 kategoride uygulanır. Arama için 0.2, işletme için 0.4 ve alt yapı tesis için 0.5 olarak uygulanır.

Ekolojik denge katsayısı orman sayılan alanda bitki örtüsünün ve ağaçların sıklığı göz önünde bulundurularak uygulanır. Örneğin, ağaç olmayan alanlar için 1, çok yoğun ağaç olan alanlarda ise 2 olarak uygulanır.

İl katsayısı ise izin alınacak orman sayılan arazinin hangi ilde bulunduğu göre değişmektedir. Hangi il için hangi katsayının kullanılacağı Orman Kanununun 16. Maddesinin Uygulama Yönetmeliği ekinde belirtilmiştir. Örneğin, İstanbul için 3, Hakkâri için 1.2 katsayıları uygulanır.

Orman Kanununun 16. Maddesinin Uygulama Yönetmeliği gereği Madencilik Faaliyetleri için orman izinleri alınması amacıyla aşağıdaki işlemler sırasıyla takip edilir:

1. Maden arama ve işletme faaliyetleri ile alt yapı tesis işleri için orman izinleri alınmak üzere ilk olarak Orman Genel Müdürlüğü'ne başvuru yapılır. Başvurular için herhangi bir bedel istenmez.

2. Başvurular değerlendirildikten sonra eğer değerlendirme sonucu olumlu olur ise başvuru sahibinden taahhütname ve bir kereliğine mahsus teminat bedeli alınır.

Teminat bedeli hesaplanırken eğer hesaplanan teminat tutarı bir hektar için alınan tutardan (16.140 TL) az olursa, 1 hektara tekabül eden teminat bedeli alınır (16.140 TL). 1 hektardan daha fazla olan tutarlar için ise yukarıdaki formül uygulanır.

3. Teminat alındıktan sonra bir kereliğine mahsus ağaçlandırma bedeli (1,61 TL / m<sup>2</sup>) alınır. Devam eden yıllarda ise sadece yıllık olarak arazi izin bedeli alınır.

4. İşletme izinlerinde ilk 5 hektara kadar (5 hektar dâhil) olan alanlar için arazi izin bedeli alınmaz. Bunun yerine bu alanlarda işletme izni olarak çıkarılan madenin satışından elde edilen gelir üzerinden ek devlet hakkı (Her yıl Maden İşleri Genel Müdürlüğü'ne verilen satış bilgi formu üzerinden hesaplanan) alınır. 5 hektardan sonrası için arazi izin bedeli tahsis edilir. Örneğin, bir maden işletmesi için izin istenen orman alanı 55 hektar olursa, arazi izin bedeli  $55 - 5 = 50$  hektar üzerinden hesaplanır. İlk 5 hektar için ise ek devlet hakkı alınır [3].

2016 yılı sonunda üretime geçmesi planlanan örnek bir 100 ha'lık maden işletme ve 300 ha'lık maden altyapı tesisi olmak üzere toplam 400 ha'lık bir maden işletmesinin orman izin bedelleri, eski yönetmelikler ve mevcut yönetmeliğe göre aşağıdaki tabloda hesaplanmıştır:

YÖNETMELİK TARİH SAYISI	Arazi İzin Bedeli (TL)	Ağaçlandırma Bedeli (TL)	Teminat (TL)	TOPLAM (KDV HARİÇ)
22.03.2007 tarih ve 28470 sayılı yönetmelik	1,896,000.00	2,000,000.00	6,000.00	3,902,000.00
30.09.2010 tarih ve 27715 sayılı yönetmelik	2,962,500.00	2,576,200.00	12,000.00	5,550,700.00
19.04.2015 tarih ve 29331 sayılı yönetmelik (2014 bedelleri)	13,036,246.37	6,456,400.00	645,640.00	20,138,286.37
<b>İLK YÖNETMELİĞE GÖRE ARTIŞ</b>	<b>588%</b>	<b>223%</b>	<b>10.661%</b>	<b>416%</b>

Şekil 4. Türkiye orman izin bedellerindeki artışa ilişkin karşılaştırmaları içeren hesaplama tablosu.

Yapılan hesaplamalar dikkate alındığında; söz konusu işletme sahasında 2007 yılında 0,47 TL/m<sup>2</sup> ve 2010 yılında 0,74 TL/m<sup>2</sup> arazi izin bedeli her yıl ödenmekte iken, mevcut yönetmeliğe göre 3,26 TL/m<sup>2</sup> ödenmektedir. Artış oranı %588'dir. Tüm bedeller birlikte değerlendirildiğinde toplam artış oranı %416 olmaktadır. 9 yıllık süre dikkate alındığında, tüm bedeller göz önüne alındığında orman izinleri için alınan bedellerin 2007 yılına göre yıllık olarak ortalama % 46 oranında arttığı gözlenmiştir.

Türkiye'de orman bedelleri (arazi izin bedeli) her yıl ödenmekte olup, Rusya, Romanya ve Yunanistan'da ise BİR DEFAYA MAHSUS ödenmektedir.

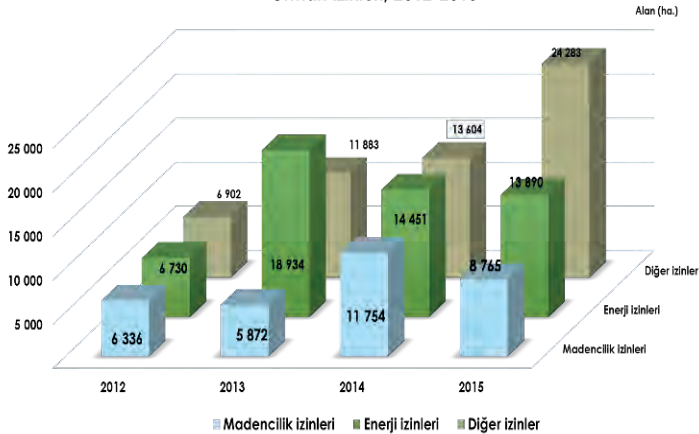
20 Yıllık bir projedeki 400 ha'lık bir orman alanı için ödenmesi gereken orman izin bedellerinin projeye etkisi alttaki tabloda hesaplanmıştır:

20 YILLIK BİR PROJEDEKİ 400 HA'LIK BİR ORMAN ALANI İÇİN ÖDENMESİ GEREKEN ORMAN İZİN BEDELLERİNİN PROJEYE ETKİSİ				
Projenin İlk Yatırım Tutarı (Milyon TL)	ORMAN İZİN BEDELLERİ		GENEL TOPLAM (arazi izin bedelinde hiç artış olmadığı düşünülürse) (Milyon TL)	GENEL TOPLAM (arazi izin bedelinde hiç artış olmadığı düşünülürse) (Milyon TL)
	Orman İzin Bedeli (İlk yıl arazi izin bedelinde hiç artış olmadığı düşünülürse) (Milyon TL)	Orman İzin Bedeli (Her yıl %10 artış olursa) (Milyon TL)		
480	261	747	741	1.227

Şekil 5. 20 yıllık bir örnek proje için orman izin bedelleri ile ilgili hesaplama tablosu.

Yukarıdaki örnekte de görüldüğü gibi orman izin bedellerinin çok yüksek olması, projenin fizibilitesini doğrudan etkileyerek yapılacak faaliyetin ekonomikliğini de ortadan kaldırmaktadır.

Orman İzinleri, 2012-2015



Şekil 3. 2012-2015 yılları arası verilen orman izinleri ile ilgili kıyaslama grafiği

## 2 KANADA

### 2.1 Kanada'da Madencilik

Kanada global madencilik endüstrisinde bir liderdir. Yıllık 60 dan fazla mineral çeşidi üretimi ile dünyanın en büyük metal ve mineral üreticilerinden biridir. Kanada anahtar endüstriyel mineraller (metalürjik kömür ve potasyum) ile metal (altın, demir, çelik, kurşun, nikel, alüminyum, bakır, uranyum ve çinko) zenginidir. 2010 yılında Kanada global potasyum üretiminde birinci, uranyum üretiminde ikinci, alüminyum ve titanyum konsantresi üretiminde üçüncü, elemental kükürt ve nikel üretiminde dördüncü ve platin grubu metallerin üretiminde ise beşinci olmuştur. Kanada'da dünyadaki diğer ülkelerde bulunanlardan daha fazla maden şirketi bulunmaktadır [4].

#### 2.1.1 Federal Yapı

Kanada 10 eyalet ve 3 bölgeden oluşan federal sistemle yönetilmektedir. 1867 anayasasında eyaletlerin federal hükümete ast olmadığı belirtilmiştir. Eyaletler maden arama, hazırlama, koruma ve yönetim üzerinde tam yetkiye sahiptirler [5].

#### 2.1.2 Hak Talebinde Bulunma ve “Serbest Giriş” Sistemi

Kanada'da mineral endüstrisi arama faaliyetleri için hemen hemen sınırsız araziye erişimin keyfini çıkarmaktadır. Kutup altı ormanlarının çoğunluğunda maden arama için Kanada'da 150 yıl önce ortaya çıkarılan bir “serbest giriş” kullanım hakkı sistemi yer alır. Bu sistemle, maden arayıcılar mineral haklarını kelimenin tam anlamıyla – ya da giderek artan bir şekilde, hemen hemen – arazi kullanım hakkını elde ederler ve sonra kullanım hakkı elde ettikleri arazileri mineral arama hakkı şeklinde hükümet ile kayıt altına aldırırlar. Bir kere hak elde edilip dosyalandığında, maden arayıcıya maden arama ve hazırlık amacıyla araziler için süreklilik arz eden haklar tahsis edilir.

Serbest giriş sistemi tüm kaynak çıkarma sektörleri arasında tektir; öyle ki, serbest giriş maden arayıcılara başvuru ve gözden geçirme süreçleri yerine kullanım hakkı elde ettikleri anda haklar tahsis etmektedir. Ormancılık, tarım, ulaşım ve diğer projelerin görüldüğü ayrıntılı halk gözden geçirme sürecine ve öncelikli planlamaya gerek yoktur. Bu gözden geçirme süreci sadece bir maden projesi ileri bir evreye ulaştığı anda gerçekleşmektedir. Dahası, istişaresiz arazi hakkı elde etme gücü daha rasyonel, adil ve değişik arazi ve kaynak değerlerinin entegre kullanımına rehberlik etmesini amaçlayan önemli

bölgesel arazi kullanım planlaması çabalarını baltalamaktadır.

Konuyu karmaşıktırarak, arazideki yasal çıkarlar “yer üstü” ve “yer altı” çıkarları arasında bölünür. Yerüstü çıkarları belirli bir amaçla, örneğin ormancılık, turizm ya da tarım, bir kişi tarafından kiralanabilir ya da bütünüyle sahiplenilebilir; oysa yer altı çıkarları maden arama için diğer kimse tarafından yasal olarak elde edilebilir. Yerüstü sahibinin arama ya da madencilik faaliyetlerinin yerüstü kullanımıyla uyumsuz olma durumunda bile maden arama ve hazırlık için erişim sağlaması gereklidir [6].

#### 2.1.3 Hak Talebinde Bulunma ve Maden Arama

Kanada'da mineral kullanım hakkı yasasının altında yatan birkaç varsayım vardır:

- Madencilik arazilerin ilk ve en iyi kullanımudur.
- Tüm Kraliyet (devlet) arazileri yasayla açıkça dâhil edilmemiş ya da yürürlükten kaldırılmamışsa maden arama ve hak talebinde bulunmaya açıktır.
- Madencilik Yerli halkın arazi haklarından üstün gelmektedir. Mevcut sistem Yerli halkın arazi haklarını tanımamakta ya da hesaba katmamaktadır. Mevcut federal serbest giriş yasaları İlk Milletler için danışma ya da koruma gerektirmemektedir, ya da Delgamuukw tarafından gerekli olarak onlara arazi kaynağı kararlarında rol oynamalarını sağlamamaktadır. Genel olarak, maden arama faaliyetleri ve serbest giriş yerli arazi hakları üzerinde yıkıcı etkiye sahiptir.
- Madencilik özel mülkiyet alanlarında üstün gelmektedir.
- Mineral kullanım hakları ilk geliş ilk servis edilme üzerine uygun olarak verilir.

Mineral hakları ne milli parklar için ne de hükümetler tarafından diğer “hak talebi için yürürlükten kaldırılan araziler” verilmemektedir. Bazı eyaletler, Quebec gibi, eyalet parklarında hak talebinde bulunmaya izin vermektedir [5].

#### 2.1.4 İzinler

Bir maden şirketi ne zaman yeterli bir kaynak olduğunu hisseder ve madencilığe başlamak isterse, farklı eyaletlerde farklı gereksinimler vardır.

Bir madenin kurulmasına başlamadan önce eyalet ve federal hükümet tarafından istenen pek çok izin mevcuttur ve bu bir madenin pek çok aşamada ilerlemesini durmasına yol açan ya da proje üzerinde belirli şartları ve gereksinimleri dayatan bir izin evresidir.

Farklı eyaletlerde arazi kullanım planlaması yasalarının hemen hemen hepsi madenciligi pek çok



arazi kullanım planlarından muaf tutar ve madenciliği en yüksek ve en iyi arazi kullanımı olarak ele alır [5].

## 2.2 Kanada'nın Orman Varlığı ve Sürdürülebilir Orman Yönetimi

Kanada bir orman ülkesidir. Rusya, Brezilya, ABD ve Çin ile birlikte dünyada ormanları en geniş olan ülkelerden biridir. Bu ülkeler dünyanın ormanlık alanlarının yarısından fazlasını kontrol eder [7].

Ülke	Ormanlık alan miktarı (km <sup>2</sup> )
Rusya	7.635.000
Brezilya	5.100.000
Kanada	3.480.000
ABD	2.809.000
Çin	1.133.000

Kanada'nın eyaletleri ve bölgeleri ülke ormanlarının geniş bir kitlesi üzerinde yetkiye sahiptir ve ormanlarla ilgili yasa, yönetmelik ve politika geliştirip yürütürler.

Bu yasa, yönetmelik ve politikalar bir yönetimden diğer yönetime değişir ancak tümü

- Sürdürülebilir orman yönetimine dayanır
  - Halkla, endüstrilerle ve diğer ilgili taraflarla dayanışmalı olarak geliştirilirler
  - Bilimsel araştırma ve analizlere dayanmaktadır
- [8].

### 2.2.1 Madencilikte Orman İzinleri

Bir mineral kullanım hakkı sahibi sadece madencilik amacıyla kesilen ağaçları kullanabilirken satış amaçlı ticari olan ya da saha ile direkt alakası olmayan kişisel kullanım amacıyla ağaç kesemez. Başka bir deyişle, maden arama, hazırlık ve maden işletme süreçlerinde ağaç kesimi sadece bu süreçler dolayısıyla yapılabilir. Bunun dışında kesilen ağaçların başka bir amaçla kullanılması için hükümetten izin alınması gereklidir [9].

Bir kişi (ya da şirket) mineral kullanım hakkı elde ettiği zaman bu Kraliyet ağaçlarının kesilmesi için bu kişiye hak tanımaz. Ancak, bundan sonra "Orman Yasası"nda belirtilen "Hak Sahibi Ağaç Kesme Lisansı" için başvuru yapılabilir. Bu şekilde mineral hak sahibine Kraliyet ormanlarında ağaç kesme için izin verilir. Ağaç kesme lisansı için herhangi bir ücret ya da kira bedeli alınmaz. Sadece kesilen ağaçlar için hükümete "kereste" bedeli ödenir [10].

Her bir eyaletin ağaç yönetimi için ayrı bir kullanım hakkı sistemi olmasına rağmen, ülke çapında benzerlikler bulunabilir. Tüm ağaç kullanım hakları ağaç kesimi amacıyla Kraliyet (devlet)

ormanlarına erişim sağlar; kereste olmayan orman ürünlerine, örneğin mesire, vahşi yaşam ve su, hak sağlamaz. Pek çok ağaç kullanım hakkı eyalet onayı ile devredilebilir [11].

Her eyalet kesim haklarının takasında ücret toplamaktadır. Bu ücretler yıllık kiraları ve kereste ücreti adıyla da bilinen bir ağaç kesim ücretini içermektedir. Yıllık kiralar ve kereste ücretleri eyalet hükümetleri tarafından belirlenir ve kerestenin kalitesine ve fabrikalara gönderilme ile ilgili masraflara bağlı olarak hem eyaletlerin içerisinde hem de eyaletler arasında değişmektedir. Örneğin, kereste ücretleri British Columbia' da 0.20 \$ / m<sup>3</sup> ten 39 \$ / m<sup>3</sup> ten fazlasına değişmekte, Ontario' da ise 0.47 \$ / m<sup>3</sup> ten 21.53 \$ / m<sup>3</sup> e kadar değişmektedir. British Columbia yıllık 0.20 \$ / m<sup>3</sup> harç almaktadır, Ontario' da Standard yıllık harçlar yoktur ancak yeni ağaç dikmeyi kapsayacak ve yangından, fırtınadan, böceklerden, hastalıklardan ve sellerden koruyacak şekilde ağaç kesim zamanında ekstra harçlar almaktadır. Ücretler orman yönetimini ve diğer eyaletsel işlemleri desteklemek amacıyla eyaletler için gelir üretmektedir. Bunlar eyaletler tarafından ayarlanmaktadır ve ücretlerin market koşullarını tam olarak yansıtmayı yansıtmadığı ya da bunun yerine kısmen destek sağlayabileceği üzerine bazı çelişkiler vardır [12].

Pek çok ağaç kesme hakları iki tip kullanım hakkı anlaşmasından biri vasıtasıyla tahsis edilmektedir. Birisi belirgin yönetim sorumluluklarını sunan uzun süreli, alan bazlı kullanım hakkıdır. Bir alan bazlı kullanım hakkı hak sahibini yeniden boyutlandırılabilen belirli bir lokasyonda ağaç kesmeyle kısıtlar. Diğer kullanım anlaşması ise daha az yönetim sorumluluğu getiren hacim bazlı kısa süreli kullanım anlaşmasıdır. Hacim bazlı kullanım hakları hak sahibine belirli bir miktarda ağaç tahsis eder ve ağaç kesme lokasyonunu sınırlamaz. Ayrıca, bazı eyaletler yakacak odun, yılbaşı ağaçları ve ticari olmayan kereste gibi belirli orman ürünleri için ikinci bir hacim bazlı kullanım hakkı sunmaktadır [13].

### 2.2.2 Yıllık İzin Verilen Kesme (AAC)

Pek çok kereste kullanım hakkı Yıllık İzin Verilen Kesme (AAC) nin bir kısmı olarak tahsis edilir. AAC hükümete nakit sağlamak, eyalet ekonomisine yardım etmek, yerel halkı desteklemek ve fabrikalara tedarik etmek amacıyla Kraliyet arazilerinden üretilen kerestenin düzenli akışını sağlamayı garanti etmek için tasarlanmıştır. AAC sürdürülen ürünün öncülü üzerinde eyalet hükümetleri tarafından belirlenir. Yani, geniş bir coğrafya alanı boyunca ağaç kesme oranları ağaç büyüme oranlarını geçmemelidir. Kesme oranlarının yıllık olarak dalgalanmasına izin verilmesine rağmen, tüm hak sahiplerinin beş yıllık ortalama

süre üzerinde AAC' ın kendi belirledikleri kısmını karşılaması gereklidir [13].

### 2.2.3 Kanada' da Genel Olarak Madencilik Politikalarının Sonuçları

Kanada' da orman alanlarında madencilik faaliyetleri için genel olarak söylenecek olan şudur ki madencilik Kanada'da en önemli ekonomik faaliyettir ve orman alanları dâhil Kanada'da arazi kullanımlarında en önde gelmektedir. Bu sebeple, ormanlarda madencilik faaliyetlerine kolaylıkla izin verilmekte ve çok küçük miktarlar ödenerek bu izinler alınmaktadır. Örneğin, Kanada'da orman alanlarında madencilik yapan firmalar bağlı bulunduğu eyaletin/bölgenin ormanlarla ilgili yetkili kurumlarına hektar başına yıllık sadece 4 Kanada Doları ödeme yapmakta ve başka herhangi bir ücret talep edilmemektedir. Aynı zamanda orman alanında madencilik faaliyetleri (arama, hazırlık, üretim, vs.) için kesilen ağaçlar maden firmasına bırakılmaktadır [14]. Burada dikkat edilecek en önemli husus, Kanada'da ormanların geniş yer kaplaması ve orman ürünleri endüstrisinin de madencilikten sonra Kanada'nın en önemli ikinci gelir grubunu oluşturmasıdır. Kanada'da ormanların madencilik için açık olmasının yanı sıra sürdürülebilir orman yönetiminin önemi de büyüktür. Yani, Kraliyet ormanları tüm eyaletler ve federal hükümet tarafından takip edilip, bir yandan madencilik ve orman endüstrisi gereksinimlerini karşılarken, diğer yandan da yeni geliştirilen ormanlarla ekolojik dengenin korunması sağlanmaktadır.

## 3 ALMANYA

### 3.1 Almanya'da Madencilik

Almanya'nın en önemli doğal kaynağı kömürdür. Almanya dünyanın en büyük kömür üreticisidir. Ülkede 2,5 milyar ton taş kömürü ve 40,5 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Bunun dışında önemli enerji kaynağı bulunmamaktadır.

Almanya'nın gerek petrol gerekse maden cevheri bakımından kaynakları sınırlı olup, bu açıdan büyük ölçüde dışa bağımlıdır. Bununla birlikte, yurtiçi tüketiminin dörtte birini karşılayabilecek düzeyde doğalgaz kaynaklarına, ayrıca geniş taş kömürü, linyit kömürü ve tuz kaynaklarına sahiptir. Bunlar dışında ülke potasyum ve küçük miktarlarda olmak üzere uranyum kobalt, bizmut ve antimon gibi maden ve mineral kaynaklarına sahiptir. Ancak, ülke genel olarak metal-mineral kaynakları açısından yoksuldur. Önemli linyit rezervleri Ren bölgesi, güney Brandenburg, Saksonya, Saksonya-Anhalt ve Aşağı Saksonya'nın doğusunda bulunmaktadır. Ekonomik olarak çıkarılabilir rezervlerin 40,5 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Önemli taş kömürü rezervleri ise Ruhr bölgesinde (Kuzey Ren-

Westfalya) ve Saarland'dadır. Rezerv büyüklüğü 2,5 milyar tondur. Ancak bu rezervlerin işletilmesinin ekonomik olmadığı düşünülmektedir [15].

### 3.2 Almanya'nın Orman Varlığı

Almanya geniş çayırlara ve ormanlara, verimli ovalara sahiptir. Tarımsal araziler yaklaşık 17 milyon Ha, ülkenin ormanlık arazisi ise 11 milyon hektardır. Tarımsal arazilerin 11,88 milyon Ha'lık bölümünü ekilebilir araziler, 198 bin Ha'lık bölümünü sürekli bitkiler 4,9 milyon Ha'lık bölümünü de sürekli çayır ve otlaklar oluşturmaktadır [16].

Almanya Arazi Kullanımı (1000 hektar-Ha)	
Yıl	2007
Ülkenin Yüzölçümü	35.712
Tarımsal Araziler	16.950
Orman Arazileri	11.076
Diğer Araziler	6.851
Su Alanı (göller vb)	835

Kaynak: FAOSTAT – FAO Statistics Division

### 3.3 Almanya'da Madencilik ve Orman İzinleri

Almanya'da madencilik faaliyetlerinin (arama, işletme, alt yapı tesis) orman arazilerinde yapılması ile ilgili izinlerde herhangi bir şekilde başvuru ücreti, ağaçlandırma bedeli, vs. alınmamaktadır. Aynı zamanda orman arazilerinde yapılan madencilik faaliyetleri için çok küçük miktarlarda yıllık arazi kullanım bedelleri alınmaktadır. Kısaca söylemek gerekirse madencilikte orman izinleri ile ilgili yüksek bedeller ödenmemektedir [17].

## 4 AVUSTRALYA

### 4.1 Avustralya'da Madencilik

Madencilik Avustralya'nın önde gelen sanayilerinden biridir. Yeni maden kaynaklarının tespiti bu sanayinin önemini arttırmıştır. Bir zamanlar dünyanın en büyük altın üreticisi olan Avustralya'da, bugün hala Kalgoorlie'de çok miktarda altın çıkarılmaktadır. Güney bölgesindeki Broken Hill, dünyanın en zengin gümüş, çinko ve kurşun kaynaklarından biridir. Tasmanya zengin bakır üretim sahasıdır. Kömür, doğu kıyısı boyunca ve biraz daha az ölçüde Güney Avustralya'da ve Batı Avustralya'daki Collie ve Leigh Greek'de çok miktarda çıkarılmaktadır. Uranyum, kuzey mıntıkasında çıkarılıp işlenmektedir. Bunların yanı sıra ülkede broksit, tungsten, kalay, molibden titanium, antimon ve rulite gibi her çeşit maden çıkarılmaktadır [18].

## 4.2 Avustralya'nın Orman Varlığı

Avustralya'da yaklaşık 123 milyon hektar orman alanı bulunmaktadır ve bu da ülke yüzölçümünün yaklaşık %16'sını oluşturmaktadır [19].

## 4.3 Avustralya'da Madencilik ve Orman İzinleri

Avustralya'da madencilik faaliyetlerinin (arama, işletme, alt yapı tesis) orman arazilerinde yapılması ile ilgili izinler aynen Almanya'daki gibi küçük miktarlarda bedeller ödenerek alınmaktadır ve maden faaliyetleri için orman izinleri önemli bir sorun arz etmemektedir [17].

## 5 RUSYA

### 5.1 Rusya'da Madencilik

Rusya Federasyonu, madenler bakımından çok zengin bir ülkedir. Dünyanın ikinci büyük kömür üreticisi olan ülkede Kuzbass, Karaganda, Donbass ve Perçora büyük kömür yatakları vardır. Doğu Sibirya'da demir, altın, mika, kurşun, çinko, bakır, grafit, alüminyum ve elmas önemli madenlerdir. Volga-Ural bölgesinde ve Sibirya Ovasındaki Tyumen alanında petrol çıkarılmaktadır. Ayrıca ülkenin birçok bölgesinde tabii gaz yatakları bulunmaktadır. Bütün madenleri ülke için yeterli miktarda çıkarılırken, sadece kalay üretimi yetmemektedir [20].

### 5.2 Rusya'nın Orman Varlığı

Rusya Federasyonu, toprak bakımından dünyanın en büyük ülkesidir. Yaklaşık 17.075.000 km<sup>2</sup>lik bir yüzölçümüne sahiptir. Rusya Federasyonunun tabii özelliği incelendiğinde üç önemli hakikat göze çarpar; birincisi, dünyanın en geniş ülkesi olmasına rağmen topraklarının % 70'i boştur. İkincisi topraklarıyla denizleri kuşatan en geniş bir "kıta ülkesi" olduğudur. Sonuncusu ise, diğer ülkelerdeki gibi dağlık ve tepelik olmaktan ziyade, daha çok ormanlık ve yeşil ovalık bir ülkedir [20].

Rusya, 7 milyon 635 bin kilometrekarelik ormanlık alanıyla dünyanın en fazla orman alanına sahip ülkesidir. Ormanlık alanlar ülkenin yüz ölçümünün yüzde 45,5'ine tekabül etmektedir [21].

### 5.3 Rusya'da Madencilik ve Orman İzinleri

Rusya'da madencilik faaliyetlerinin (arama, işletme, alt yapı tesis) orman arazilerinde yapılması ile ilgili izinler aynen Almanya'daki gibi küçük

miktarlarda bedeller ödenerek alınmaktadır ve maden faaliyetleri için orman izinleri önemli bir sorun arz etmemektedir. Rusya'da madencilik faaliyetleri amacıyla orman izni için ücretsiz başvuru yapılır ve izin alınan orman arazisinin metrekaresine sadece yıllık 0,02 \$ dolar gibi bir bedel ödenmektedir [17].

## 6 AMERİKA

### 6.1 Amerika'da Madencilik

ABD, kendi temel endüstrisi için gerekli metal ve mineraller bakımından çok zengin bir ülkedir. ABD'de büyük ölçüde çıkarılan maden ve mineraller arasında, demir, kömür, çinko, bakır, gümüş ve suni gübre üretiminde kullanılan fosfat bulunmaktadır. Ülkede, demir-çelik fabrikaları için yılda 80 milyon tondan fazla demir üretilmektedir. Amerika'nın başlıca tabii kaynaklarından ikincisi kömürdür. Yüzlerce yıl yetecek geniş rezervleri bulunmakta olup kömürün büyük bir kısmı elektrik üretimi için kullanılmakta ve ülkenin elektrik enerjisinin yarısı kömürden elde edilmektedir. Ülkedeki petrol kuyularından yılda 3,2 milyar varilden fazla petrol çıkarılmaktadır. Gaz ve benzin gibi petrol ürünlerinin üretimi, işlenmesi ve pazarlanması, ABD'nin en büyük endüstrilerinden biri konumundadır. Ülkede enerjinin % 33'ten fazlasını, doğal olarak elde edilen veya kömürden çıkarılan hava gazı sağlamaktadır [1].

### 6.2 Amerika'nın Orman Varlığı

Yüzölçümü 9,631,420 km<sup>2</sup> olan Amerika Birleşik Devletleri'nde ormanlık alanlar toplam yüzölçümünün %30 una denk gelmektedir. Amerika'nın orman varlığı diğer ülkeler ile kıyaslandığında Rusya, Brezilya ve Kanada'dan sonra ormanları en geniş 4. büyük ülke olmaktadır.

### 6.3 Amerika'da Madencilik ve Orman İzinleri

Amerika'da madencilik faaliyetlerinin (arama, işletme, alt yapı tesis) orman arazilerinde yapılması ile ilgili izinler aynen Almanya'daki gibi küçük miktarlarda bedeller ödenerek alınmaktadır ve maden faaliyetleri için orman izinleri önemli bir sorun arz etmemektedir [17].

## 7 SONUÇ

Yapılan araştırmalara bakıldığında, Türkiye’de madencilik faaliyetleri kapsamında verilen orman izinlerinin madencilikte ileri olan Kanada, Avustralya, ABD gibi diğer ülkelere nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir.

Dünya maden fiyatları günlük olarak değişmektedir. Orman bedellerinin tespitinde bir önceki yılın ortalama fiyat gelişmeleri dikkate alınmalı ve bir sonraki yılın fiyatı buna göre belirlenmelidir.

Örneğin, dünya maden fiyatları çok düşmüş iken katsayıların artırılması ya da hiç düşürülmemesi durumunda; (1) ödeme yapılmaz ve (2) firmalar ciddi finansman darboğazına sürüklenir.

Diğer taraftan orman vasfı olmayıp, tek bir ağaç bulunmayan yerler orman mülkiyeti olarak kaydedilmiş olup; ciddi bir bedel alınmaktadır. Bu vasıftaki yerler için düşük katsayılar kullanılmalı, daha düşük bedeller alınmalıdır.

Orman bedeli yatırıldıktan sonra, bir hafta içinde teslimi firmaya yapılmalı ve 15 gün içinde ağaçların kesilmesi sağlanmalıdır.

Ülkemizde uygulanan Orman Kanununun 16. Maddesinin Uygulama Yönetmeli kapsamında alınan orman izin bedelleri ortalama olarak ele alındığında, bir defaya mahsus bir hektar için ödenmesi gereken 16.140 TL gibi yüksek bir ağaçlandırma bedelinin yanı sıra yıllık olarak ortalama 0.95 \$ / m<sup>2</sup> gibi bir arazi izin bedeli hesaplanmakta ve bu da madencilik faaliyetlerinin önüne önemli bir ekonomik engel teşkil etmektedir [17].

2014 yılında Uygulama Yönetmeliğinde ilk olarak Orman izin bedelleri yaklaşık yüzde 500 oranında arttırılmıştı.

Sektörün bu konudaki itirazları dikkate alınarak, 19 Nisan 2015 tarihli Resmi gazetede yayımlanan Orman Kanununun 16. Maddesinin Uygulama Yönetmeliğinde yapılan değişiklik ile;

- Sondaj usulü maden arama izinleri, Maden arama, işletme ve hammadde üretim izinleri, Maden tesis ve altyapı tesis izinleri, Toprak dolgu izinlerindeki artış yüzde 300’e düşürülmüş (ortalama %40 civarında indirim) yapılmış;
- Ardından izin bedellerin belirlenmesinde asgari ücret rakamlarının kullanılması sebebiyle, 2016 yılı başında orman arazi izin bedellerinde tekrar yaklaşık %30 artış olmuştur.

Bazı ülkelerde örneğin, Kanada, Almanya, Avustralya ve ABD’de orman izinleri için sadece yetkili bakanlığa başvuruda bulunulması gerekip, başvuru için ise küçük ücretler (25 \$) alınmakta ve daha sonra maden faaliyetlerinin yapıldığı yıllar için ise hektar başına yıllık yaklaşık 4 dolar gibi sembolik bir bedel alınmakta ve madencilik faaliyetleri teşvik edilmektedir. Arazi izin bedelleri diğer bazı ülkelerde yine yıllık olarak alınmakta ve çok küçük miktarlarda olmaktadır. Örneğin, Yunanistan’da yıllık 0.60 \$ / m<sup>2</sup>, Rusya’da yıllık 0.02 \$ / m<sup>2</sup> arazi izin bedeli alınmaktadır [17].

Mevcut dolar kuru olarak 1\$ = 3,5 TL olarak kabul edilirse, Türkiye’de bir hektar başına ödenen miktar bir defaya mahsus olarak 16.140 TL ağaçlandırma bedeli, yıllık arazi izin bedeli (orman izin bedeli) ise 9500 \$ = 33.250 TL olmakta ve 20 yıllık bir orman izni bedeli bir maden firması için yaklaşık 665.000 TL gibi büyük bir bedel haline dönüşmektedir. Dolayısıyla söz konusu durum, ülkemizde orman alanlarında madencilik faaliyetleri için madencilğe hevesli firmaların şevkini kırmakta ve olumsuz bir yatırım ortamının oluşmasını sağlamaktadır.

Bazı ülkelerdeki orman arazileri için madencilik amaçlı ödenen bedellerle ilgili hesaplama tablosu altta verilmiştir:

ÜLKE	BAŞVURU ÜCRETİ / TEMİNAT (\$)	YILLIK ÜCRET (USD/M <sup>2</sup> )	AÇIKLAMALAR
AMERİKA	YOK	BEDELSİZ	-
KANADA	25	4 \$/hektar	Ağaç kesme lisansı mevcut olup, bunun için herhangi bir ücret/kira bedeli alınmaz. Sadece kesilen ağaçlar için hükümete "kereste" bedeli ödenir.
AVUSTRALYA	200	BEDELSİZ	-
ALMANYA	YOK	BEDELSİZ	Orman arazilerinde yapılan madencilik faaliyetleri için <b>çok küçük miktarlarda</b> yıllık arazi kullanım bedelleri alınmaktadır.
RUSYA	YOK	0,02	<b>Bakanlar Kurulu Kararı ile 49 yıllığına madencilik izni verilmektedir.</b> 1.0 ruble/1 m <sup>2</sup> /yıllık. 49 yıl sabit birim fiyat. Her yıl Ruble üzerinden bedel alınır.
YUNANİSTAN	YOK	0,60	Euro üzerinden her yıl hesaplanarak bedel alınır.
ROMANYA	YOK	0,50	Euro üzerinden her yıl hesaplanarak bedel alınır.
MACARİSTAN	YOK	0,50	Euro üzerinden her yıl hesaplanarak bedel alınır.
TÜRKİYE *	4.611 (Teminat)	0,95	<b>16.140 TL/hektar ağaçlandırma bedeli teminat olarak alınmaktadır.</b>

**Şekil 6.** Bazı Ülkelerdeki Orman Arazileri İçin Madencilik Amaçlı Ödenen Bedellerle İlgili Kıyaslama Tablosu (\* 1\$ = 3,5 TL).

## KAYNAKLAR

1. Ernst&Young; *Dünyada ve Türkiye’de Madencilik Sektörü*.
2. *Türkiye Orman Varlığı 2014*, Orman Genel Müdürlüğü
3. Nane, A.,2015, İzin ve İrtifak Dairesi Başkanı, Orman Genel Müdürlüğü
4. Davies Ward Phillips & Vineberg LLP; “*Investors’ Guide To Mining In Canada*”,
5. *Canadian Mining Law and the Impacts on Indigenous Peoples Lands and Resources*, Mining Watch Canada Mines Alert
6. *Mineral Exploration Conflicts In Canada’s Boreal Forest*, May 2008
7. Yıldız, E., 2014. *Kanada Ormancılığı*, Bursa Orman Bölge Müdürlüğü
8. Canada's Forest Laws, Natural Resources Canada, Government of Canada
9. *Timber On Mining Claims*, Yukon Government Energy Mines and Resources Forest Management Branch
10. E-Mail communication with Kelly Finck, Senior Timber Tenures Forester, Forest Tenures Branch, British Columbia
11. Haley, David, and Martin K. Luckert, 1990. *Forest Tenures in Canada: A Framework for Policy Analysis*. Information Report E-X-43. Ottawa, ON: Forestry Canada, Economics Branch.
12. Uhler, Russell S. 1991. *Canadian Public Timber Pricing and the Great Subsidy Debate*. In Canada-United States Trade in Forest Products, ed. Russell S. Uhler. Vancouver: UBC Press, 73-93.
13. Berry, A., *Branching Out: Case Studies in Canadian Forest Management*.
14. Akdur, Ü., Türkiye Altın Madencileri Derneği
15. Turhan, M., Mayıs 2014. *Madencilikte Önemli Bazı Ülkelerde Maden Hukuku ile İlgili Mevzuat*.
16. *Almanya Ülke Raporu, 2011*
17. Süleyman ÇUHADAR, TÜPRAG Metal Madencilik A.Ş.
18. <http://www.moment-expo.com/kucuk-kita-buyuk-ulke-avustralya>
19. [https://en.wikipedia.org/wiki/Forests\\_of\\_Australia](https://en.wikipedia.org/wiki/Forests_of_Australia)
20. <http://www.cografya.gen.tr/siyasi/devletler/rusya.htm>
21. <http://www.mailce.com/orman-yonunden-en-zengin-10-ulke.html>.

# Türkiye’de Maden Atıkları Yönetmeliği’nin Madencilik Sektörüne Etkileri

## *The Effects of the Mineral Waste Regulation in Turkey on the Mining Sector*

T.D. Yıldız

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

O. Güner

*Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara*

O. Kural

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

**ÖZET** ”Maden Atıkları Yönetmeliği” 15.07.2015 tarihinde resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Ancak 16.07.2016’da bu yönetmelikte değişiklik yapılmasına dair yeni bir yönetmelik ile, söz konusu yönetmeliğin 15.07.2017 tarihinde yürürlüğe girmesi öngörülmüştür. Bu yönetmelik madencilik sektörünü zor durumda bırakacak şekilde, yeni yatırımları engelleyecek ve mevcut yatırımcıların sektörden uzaklaşmasına neden olacak düzenlemeler içermektedir.

Bu yönetmeliğe göre madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıklar; tehlikeli atık, tehlikesiz atık veya inert atıklardan oluşmaktadır. Ancak söz konusu Yönetmelikle madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıkların birçoğu “tehlikeli atık” sınıfına sokularak “endüstriyel atık” gibi değerlendirilmektedir. Daha önceden sadece siyanür veya kimyasal işlem gerektiren madenlerin atıkları için istenen yükümlülükler bu yeni yönetmeliğin yürürlüğe girmesiyle artık neredeyse tüm maden atıkları için istenecektir.

Türkiye’de “Maden Atıkları Yönetmeliği” ile yapılmak istenen düzenlemeler, çevreyi korumaktan ziyade madencilik faaliyetlerini yavaşlatma, geciktirme ve hatta yer yer imkansız hale getirerek madencilikte öngörülebilirliği ortadan kaldırma yönelimini göstermektedir.

**ABSTRACT** "Mine Waste Regulation" entered into force on 15.07.2015 by publishing on official journal. However, with regulation about changing this regulation, it is predicted that the regulation will enter into force on 15.07.2017. This regulation includes a number of regulations that will hinder new investments and cause existing investors to move away from the sector, leaving the mining industry in a difficult position.

Wastes resulting from mining activities are; hazardous waste, non-hazardous waste or inert waste. However, in the regulation, the majority of the wastes formed as a result of mining activities are classified as "industrial waste" by being placed in the category of "hazardous waste". The obligations for gold mines that previously only require cyanide or chemical treatment will now become mandatory for almost all mine waste quarries, as this requirement is enforced.

Regulations to be made in Turkey with the "Mineral Waste Regulation" indicate a tendency to slow down, delay, and remove its foresesability by even making impossible rather than enviroment protection.

## 1 MEVZUAT GELİŞİMİNDE MADEN ATIKLARI

Doğal kaynaklar hızla tükenirken, üretim ve tüketimden kaynaklı *atıkların* önlemler alınmadan doğaya atılması çevre kirliliğinin oluşmasına ortam sağlayabilmektedir.

Madencilik faaliyetlerinin cinsine bağlı olarak farklı *atıklar* oluşmaktadır. Bunlar; örtü tabakası, pasa, proses atıkları, yığın liç atıkları ve atık sulardır (Erdemoğlu, 2014).

Ülkemizde geçmiş yıllarda *maden atıklarına* özgü yönetmelik olmaması nedeniyle hâlihazırdaki *maden atıkları*, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (ADDDY) ve özellikle de Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY) kapsamında değerlendirilmekteydi.

Ancak bu durum *maden atıklarını* "tehlikeli atık" sınıfına sokmaktaydı. Halbuki maden atıklarının özellikleri madenden madene, kullanılan üretim ve zenginleştirme teknolojilerine göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle *maden atıklarının* yönetimi için bu "özel atık" akışına özgü yönetmeliğin en kısa sürede düzenlenerek hayata geçirilmesi gerektiği ifade edilmiştir (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006).

Ülkemizde ve Avrupa Birliği'nde (AB) *maden atıklarını* da içine alan atıklarla ilgili çok sayıda yasal düzenleme bulunmaktadır. Ancak, AB'de olduğu gibi ülkemizde de *maden atıklarının* yönetiminde ciddi sıkıntılar vardır. Bu nedenle AB mevzuatına dayandırılmaya çalışılmış olan ülkemizdeki mevzuatın (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006) boşluklarının ve yanlışlarının analizinin yapılması önemlidir.

-*Maden atıkları*, AB mevzuatına uyum gerekçesiyle yayımlanmış olan Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (AYGEİY) (Resmi Gazete (R.G.) tarihi: 05.07.2008) ve ADDDY (R.G. Tarihi 26.03.2010) kapsamı dışındadır. Ancak; daha sonra yayımlanan İnert Maden Atıklarının Alan Islahı, Restorasyon, Dolgu Maksadıyla Kullanımı veya Depolanmasına İlişkin Genelge (R.G. Tarihi: 27.08.2010) ve Maden Atıklarının Düzenli Depolanması ve Diğer Düzenli Depolama Tesislerinin Teknik Düzenlenmesine İlişkin Genelgeleri (R.G. Tarihi: 11.10.2011) ile *maden atıkları* ADDDY kapsamına dahil edilmişti (Sektörden Haberler Bülteni, 2011b).

Maden atıkları ile ilgili Türkiye'deki mevcut diğer mevzuata bakıldığında (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006);

-1983 yılında çıkarılan Çevre Kanunu, atık bertarafı konusunda genel ilkeleri ortaya koymaktadır. Ayrıca madencilik projeleri ÇED Yönetmeliğinin EK-1 ve EK-2 listelerinde yer almaktadır.

- 1985 yılında yürürlüğe giren 3213 sayılı Maden Kanunu'na göre ruhsat sahibi maden sahasında gerekli emniyet tedbirlerini almak ve sahanın son durumunu gösterir imalât haritası ve maden jeoloji haritasını vermek suretiyle terk talebinde bulunabilir.

-1995 yılında yürürlüğe giren TAKY 48. maddesinde *maden atıkları*; "özel atıklar" bölümünde yer almaktadır. Yönetmelikte, özel atıkların toplanması, taşınması, işlenmesi ve bertarafına ilişkin esasların Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirleneceği ifade edilmektedir. Bu dönemde maden atıklarının "özel atıklar" sınıfına dahil edilerek bu konuda ayrı bir mevzuat hazırlanması hususu hükme bağlanmıştı (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006). Ancak halen maden atıkları "özel atık" olarak değerlendirilememektedir.

- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde alıcı su ortamlarına her türlü evsel ve/veya endüstriyel nitelikli atık suların doğrudan deşarj edilmesi izne tabidir. Yönetmelikte madencilik faaliyetleri ile ilgili olarak deşarj edilebilecek standart değerler listesi verilmektedir. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ne göre ise her türlü *atık* ve tehlikeli maddenin Yönetmelikte yer alan sınır değerlere aykırı olarak toprağa deşarjı ve depolanması yasaklanmıştır (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006).

- ÇED yönetmeliğine göre; taş ocakları, yerüstü veya yeraltı maden ocakları bu yönetmelik kapsamında yer almaktadır.

Son dönemde ise 02.04.2015 tarihli R.G.'de "Atık Yönetimi Yönetmeliği" yayımlanmıştır. Böylece bu yönetmeliğin yürürlüğe girmesi; KAKY, TAKY ve AYGEİY'yi yürürlükten kaldırmaktadır. Temelde, AYGEİY'ye çok benzer içeriğe sahip olan bu yönetmelikte, madencilik sektörünü yakından ilgilendirecek önemli konular bulunmaktadır (Zanbak, 2015a).

Bu mevzuat tablosunda, AB Atık Çerçeve Yönergesi ile Tehlikeli Atık Yönergesi'ne ve Düzenli Depolama Yönergesi'ne nispeten karşılık gelen ilgili Türk mevzuatı; TAKY ve KAKY'dir. TAKY, AB Atık Çerçeve Yönergesi'nin tanımlarının ve hükümlerinin büyük kısmına karşılık gelmektedir.



TAKY’de atık kategorileri, bertaraf işlemleri ve geri kazanım işlemleri yönergeyle aynıdır (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006).

Su Çerçeve Yönergesi (su ile ilgili diğer yönergeler)’ne karşılık ise ülkemizde Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği bulunmaktadır. Ülkemizdeki ÇED Yönetmeliği de, AB ÇED Yönergesine ve ülke şartlarına uygun olarak 2003 yılında revize edilmiştir ve tam anlamıyla AB yönergesine karşılık gelmektedir. Buna karşın *maden atıkları* ile ilgili önemli olabilecek bazı AB yönergelerine karşılık ise Türk mevzuatı bulunmamaktaydı (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006).

Belirtilmelidir ki *maden atıklarının yönetiminde* bu atıklara uygun kuralların yer aldığı yasal düzenlemelerin gözden geçirilmesi gerekmektedir. Çünkü maden atıklarının özellikleri madenden madene değişkenlik göstermektedir. Maden atıklarının çevre üzerindeki olumsuz etkilerini önlemek amacıyla elbette bu atıklara özgü uygun yönetmeliklerin süratle hazırlanması ve uygulanması gerekmektedir. Çünkü hangi maden atıklarının ilgili yönetmelikler kapsamında değerlendirilmesi gerektiği iyi belirlenmemiştir. Bunun için *maden atıklarının* özelliklerine göre (tehlikeli, tehlikesiz ve inert olarak) çok iyi bir biçimde sınıflandırılması geçmişte önerilmişti (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006).

Bu yönelimle ülkemizde; yürürlükteki mevzuatın daha ziyade evsel atık ile sanayi atıklarına yönelik olması ve madencilğe tam olarak uygulanamaması nedenleriyle, *madencilik* faaliyetlerinden kaynaklanan *atıkların* diğer atıklardan ayrı olarak değerlendirilmesi amacıyla 15 Temmuz 2015 tarihinde Maden Atıkları Yönetmeliği çıkarılmasına gerek duyulmuştur.

Yönetmelikte getirilen önemli hususlar sıralanacak olursa:

1- Atık karakterizasyonunun belirlenmesi ve “tehlikeli atık”, “tehlikesiz atık” ve “inert atık” şeklinde, maden atıklarının üç grup altında toplanması,

2- “Kategori A” ve “Kategori B” olarak maden atığı bertaraf tesislerinin sınıflandırılması ve envanterinin hazırlanması,

3 – Maden atıklarının yönetimi konusunda öngörülen düzenlemeler,

4- Atıkların geri kazanımı ve finansal/mali teminat.

Söz konusu yönetmelikte öncelikle *atık karakterizasyonunun* belirlenerek, atığın hangi *sınıfa* (tehlikeli, tehlikesiz ve inert

atık) girdiğinin doğru olarak tespit edilmesi gerekmektedir. Atık karakterizasyonunun belirlenebilmesi için bu Yönetmelikte EK-3 ‘de yer alan test ve çalışmalar yapılmakta, bu analiz ve testlere göre ilgili mevzuatta yer alan sınır değerleri aşan atıklar da “*tehlikeli*” olarak sınıflandırılmaktadır.

Aynı zamanda; maden atığının “tehlikeli” olup olmadığını belirlemek amacıyla, Atık Yönetimi Yönetmeliği’nin EK-4 atık listesinin tehlikelilik özelliklerinin belirlenmesinde; EK-3/A’da verilen tehlikelilik özelliklerinin ve EK-3/B’de verilen sınır değerlerin kullanılacağı öngörülmüştür.

*Atık karakterizasyonu* ve buna bağlı olarak *atık sınıfının* doğru belirlenmesi; atıkların *depolanması* ve *bertarafında* uygulanacak zemin geçirimsizliği ile ilgili kriterlerin uygulanmasında önem arz etmektedir.

Söz konusu Yönetmelik, “Maden Atıkları Yönetmeliği” olarak yayımlanmasına rağmen –“Atık Yönetimi Yönetmeliği” ile “Tehlikeli Maddelerin ve “Müstahzarların Sınırlandırılması, Ambalajlanması ve Etiketlenmesi Hakkında Yönetmelik” gibi diğer yönetmeliklere atıfta bulunmaktadır. Böylece, “Maden Atıkları Yönetmeliği”nde *maden atığının* tehlikeli olup olmadığının belirlenmesi için yukarıdaki EK listeleri yanı sıra “Tehlikeli Maddelerin ve Müstahzarların Sınırlandırılması, Ambalajlanması ve Etiketlenmesi Hakkında Yönetmelik” hükümleri kapsamında değerlendirilme yapılması öngörülmüştür.

Ancak, Maden Atıkları Yönetmeliği’nde, diğer Yönetmelik hükümlerine gerek kalmadan *maden atıklarının sınıflandırılması* ve ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir.

AB ülkelerinin çevre mevzuatı uygulamalarında uzman değerlendirmeleri (sahanın jeolojik yapısı, yeraltı suyu, yerleşime yakınlığı..) önemli yer tutmaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından değerlendirme yapılırken maden atıkları; “tehlikeli”, “tehlikesiz” ve “inert” atık olarak gruplandırılmasına rağmen, gruplandırma ve depolama kriterlerinin yönetmelikte belirlenen ağır şartları, *maden atıklarının* önemli bir kısmının “tehlikeli atık” kapsamında değerlendirilmesine yol açacaktır.

Bu durum madencilik sektöründe öngörülebilirliği ortadan kaldırmakta ve sektöre telafi edilemez zararlar verecek bir ortam oluşturmaktadır.

## 2 MADEN ATIKLARININ KARAKTERİZASYONU-SINIFLANDIRILMASI-DEPOLANMASI –YÖNETİMİ VE GERİ KAZANIMI

“AB Atık Çerçeve Yönergesi” madde 1(1)a’ya göre *Atık*: “herhangi bir faaliyet sonucunda oluşan, çevreye atılan, atılmak istenen ya da atılması gereken herhangi bir madde”dir.

Atıklar, kapsamı itibariyle, madenlerin ve taş ocaklarının aranması, çıkarılması, zenginleştirilmesi ve madenlerin depolanması işlemleri sonrası oluşur (AB Maden Atıklarının Yönetimi Direktifi, 2006). Ülkemizin Maden Atıkları Yönetmeliği’nde de benzer şekilde –bir önceki cümlede verilen kapsam- tanım olarak verilmiştir.

Madencilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan en önemli çevresel sorunlardan biri *maden atıklarıdır*. Bu atıkların sebep olabileceği en önemli çevresel etkiler ise su kirliliği ve duraysızlık sorunlarıdır (Şekil 1).



Şekil 1. Maden atıklarının yaratabileceği su kirliliği (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011)

Maden atıklarının su kirliliği ve duraysızlık dışında çevre üzerindeki diğer önemli etkileri; görsel kirlilik, arazi verimliliğinin azalması, ekosistemin bozulması, tozlanma ve erozyondur (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006).

Madencilik faaliyetlerinde atık/ürün oranına bağlı olarak büyük miktarlarda *atık* oluşmaktadır. Atıklar, özelliklerine bağlı olarak çevreye tolere edilebilecek seviyenin üzerinde zarar verme potansiyeline sahip olabilirler. Madencilik faaliyetlerinin farklı aşamalarında ortaya çıkan birçok *maden atık* türleri bulunmaktadır (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006).

Bu atık türlerinin karakterizasyonu ve sınıflandırılması sonrasında, depolanması,

yönetimi, atık geri kazanımı ve mali teminatı gibi konuların, madencilik faaliyetlerinin kendi içerisindeki farklılıkları dikkate alınarak mevzuat kapsamında tekrar düzenlenmesi gerekmektedir.

### 2.1 Maden Atıklarının Karakterizasyonu-Sınıflandırılması

AB Atık Çerçeve Yönergesi, atık yönetimi konusunda genel hüküm ve prensipleri ortaya koyar. Bu yönerge kapsamında söz konusu atık kategorilerine ait atıkların listelenmesi için bir sistem oluşturulmuştur.

Buna göre anılan yönerge, *maden atıklarını*, eğer başka bir yönetmelik kapsamında değerlendiriliyorsa kapsam dışı tutar (Madde 2(1)(b)(ii)). Böylece maden atıklarının *özel atık* türleri olarak değerlendirildiği yönergede bu tür atıkların yönetiminde özel kuralların olması gerekliliği açıkça belirtilmektedir. AB’de *maden atıklarına* uygulanabilecek özel bir yönetmelik olmadığı için Atık Çerçeve Yönergesi bu tür atıklar için de uygulanmaktadır (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006).

Avrupa Birliği Atıkların Düzenli Depolanmasına İlişkin Yönerge’ye göre kirlenmemiş toprak yığınları veya maden arama, çıkarma, işleme ve depolanması ve taş ocaklarından kaynaklanan *tehlikesiz inert atıklar* Yönerge’nin kapsamından çıkartılmıştır (madde 3(2)).

Avrupa Birliği Maden Atıklarının Yönetimi Yönergesi’ne göre (Ek-II) üç kategoride değerlendirilmektedir:

- İnert atık (ve/veya kirlenmemiş toprak)
- Tehlikeli atık

• İnert olmayan -Tehlikeli olmayan- atık (Yukarıdaki iki tanımın hiçbirine uymayan “atıklar inert olmayan - tehlikeli olmayan atık” olarak sınıflandırılmaktadır).

Ülkemizde de AB Yönergesine benzer olarak, Maden Atıkları Yönetmeliği’nde maden atıkları “tehlikeli”, “tehlikesiz” ve “inert” olarak üç sınıfta belirtilmiştir. Ancak söz konusu yönetmelikte veya diğer atık yönetmeliklerinde -“inert atık” olabilme şartları belirtilse de- tanımı yapılmamıştır.

AB Maden Atıklarının Yönetimi Yönergesi’ne göre “inert atık”: “Herhangi belirgin bir fiziksel, kimyasal ya da biyolojik değişime uğramayan atık” anlamına gelmektedir. Yani “inert atık” başka bir atıkla bir araya geldiğinde çevresel kirlilik ya da insan sağlığına zarar verecek şekilde çözülmez, yanmaz ya da fiziksel ya da kimyasal reaksiyon göstermez. Atıktaki

toplam sızdırabilirlik ve kirleten içeriğinin ve sızıntının ekotoksitesinin önemsiz olması gerekir ve özellikle yüzey suyunun ve/veya yeraltı suyunun kalitesini tehlikeye sokmaması gerekir (Karapınar, 2011).

AB (2009/359/EC sayılı) Komisyon Kararı'na göre *maden atıkları*, kısa ve uzun dönemde belirli koşullar sağlandığında inert (doğal) atık olarak değerlendirilecektir. AB üyesi ülkelerin bu kapsamda kendi "inert atık" listelerini oluşturabilmesi öngörülmüştür (Karapınar, 2011).

Ülkemizde de yukarıdaki sınıflandırma gibi, Maden Atıkları Yönetmeliği m.8'e göre maden işletmecisi, EK-3'e göre maden atıklarının sınıflandırmasını (tehlikeli, tehlikesiz ve inert) yapmak/yaptırmakla yükümlüdür.

*Inert maden atıkları* listesi söz konusu yönetmelik EK-4/A'da verilmiştir. Ancak, listede yer alan madenlerin aranması, çıkarılması ve fiziksel olarak işlenmesi sonucu ortaya çıkan atıkların *inert* olacağı, bunun haricinde başka bir işlemde geçirilmesi halinde ise yeniden değerlendirme yapılması istenmektedir. Bu konuda AB ülkelerindeki uygulamalarda ise uzman değerlendirmelerinde yönerge maddelerinin haricinde, sahanın jeolojik yapısı, yeraltı suyu, yerleşime yakınlığı gibi koşullar da göz önüne alınmaktadır.

Ülkemizde, İnert Maden Atıklarının Alan Islahı, Restorasyon, Dolgu Maksadıyla Kullanımı veya Depolanmasına İlişkin Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 2010/13 sayılı Genelgesi'ne mermer ve kil grubu maden atıklarının depolanmasına dair çeşitli hükümler getirilmiştir.

Son olarak Maden Atıkları Yönetmeliği EK-4/A'da inert maden atıkları listesi verilmiştir. Buna göre 3213 sayılı Maden Kanununun 2. maddesi altında tanımlanan aşağıdaki madenler *inert maden atığıdır*:

1) I (a) Grubu, b) I (b) Grubu, II (a) Grubu, II (b) Grubu ve V. Grup madenler ile IV (a) Grubu madenler altında yer alan Kaolen, Dikit, Nakrit, Halloysit, Endellit, Anaksit, Bentonit, Montmorillonit, Baydilit, Nontronit, Saponit, Hektorit, İllit, Vermikülit, Allofan, İmalogit, Klorit, Sepiyolit, Paligorskit (Atapuljit), Loglinit ve bunların karışımı killer, Refrakter killer, Diatomit, Olivin, Dunit, Sillimanit, Andaluzit, Manyezit, Huntit, Pomza, Pekstayn, Perlit, Obsidiyen, Korendum, Kuvarsit, Kuvars, bileşiminde en az %80 SiO<sub>2</sub> içeren kuvars kumu, Feldspat, Nefelinli Siyenit, Kalsedon aranması,

çıkarılması ve fiziksel işlemlerle işlenmesi sonucunda oluşan maden atıkları,

2) Madenlerin çıkarılması sonucu oluşan, asit üretme potansiyeli olmayan ve radyoaktif olmayan tüm pasalar.

Böylece söz konusu genelgedeki inert maden atık listesi genişletilmiştir.

10.09.2014 tarihli Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği'ne göre, EK-4/A'da sayılan madenlerin tümü, üretim kapasitesi en az 200 ton/gün ise, "çevreye kirletici etkisi olan faaliyet veya tesisler" olarak belirlenmiştir.

Bu kapsama giren *maden atıklarının* alan islahı, restorasyon, dolgu maksatlı kullanımı veya depolanmasının planlandığı durumlarda; CED yeterlilik belgesine sahip veya bakanlıkça yetkilendirilmiş çevre danışmanlık firmaları tarafından *maden atığının* ve kullanılması planlanan alanın özelliklerini, ortaya çıkabilecek etkileri ve bu etkilerin giderilmesi için alınacak önlemleri içeren bir rapor hazırlanması istenmektedir (Sektörden Haberler Bülteni, 2011b) ve (Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği)

Bu rapor için, öncesinde; *atığın* özelliği, davranışı ve karakteristiklerinin değerlendirilebilmesi ve izlenmesinin yapılabilmesi ve uzun vadede çevre bakımından güvenli şartlarda yönetilmesinin garanti edilmesi açısından yönetilecek atıklar hakkında ilgili bilgilerin sağlanması, yani *maden atıklarının karakterizasyonunun* yapılması gerekmektedir (Karapınar, 2011).

AB'deki Komisyon Kararına göre (2009/360/EC) teknik gereklilikler kapsamında *atık karakterizasyonu* aşağıdaki kategorilerde bilgi içermelidir:

a) Temel bilgi b) işletilecek olan maden yatağının jeolojik temel bilgisi c) atığın cinsi ve planlanan bertaraf yöntemi d) atığın jeoteknik davranımı e) atığın jeokimyasal karakteristiği ve davranımı.

*Maden atıklarının karakterizasyonu* için uygun potansiyel bilgi kaynakları ise;

-Varsa arama bilgileri dahil, mevcut araştırmalar ve etüdler,

-İzin/yetki konusundaki mevcut uygulamalar Jeolojik surveyler (MTA),

-Benzer madenler ve maden modelleri hakkında bilgi (jeo-çevresel modeller),

-İnert madencilik atıkları listesidir (Karapınar, 2011).

AB Yönergesi, kirlenmemiş toprak yığınları veya maden arama, çıkarma, işleme ve depolanması ve taş ocaklarından kaynaklanan *tehlikesiz inert atıkları* kapsam dışında bırakılmaktadır. Bu yönergeye ek olarak madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan, çevre kirliliğini ve insan

sağlığını etkilemeyecek şekilde depolanan inert atıklar haricindeki *tehlikesiz atıkların depolanması* yönergenin bazı hükümlerinden muaf tutulabilmektedir (Yönerge EK-1, 2, 3.1, 3.2 ve 3.3) (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006).

Diğer taraftan, “Maden Atıkları Yönetmeliği”nde ise tehlikesiz olarak tanımlanan atıkların karakterizasyonu için dahi, AB’dekine kıyasla ilave deney ve analizler istenmektedir ve “*bu analiz ve testlere göre ilgili mevzuatta yer alan sınır değerleri aşan atıklar tehlikeli olarak sınıflandırılır*” denilmektedir (Maden Atıkları Yönetmeliği EK-3).

Maden Atıkları Yönetmeliği’nde yukarıda gösterilen EK-4/A listesi dışında kalan madenlerden kaynaklanan atıkların, *inert maden atığı* olarak tanımlanabilmesi için aşağıda verilen EK-4/B’deki şartların tümünü sağlaması gerekmektedir:

1) Maden atığı, doğal ortamda parçalanma ve bozunma/ayırışma sonucunda çözünerek çevre ve insan sağlığına zarar vermemelidir,

2) Maden atığının sülfür < (S-2) miktarı en fazla % 0,1 olmalıdır. Bununla birlikte; maden atığının sülfür (S-2) miktarı % 0,1 ile % 1 arasında ise, nötrleştirme potansiyeli (NP) ile asit potansiyeli (AP) arasındaki oran ( $NP/AP$ ) şeklinde tanımlanan statik teste dayalı olarak belirlenen değer 3’ten büyük olması gerekir. Maden atığının sülfür (S-2) miktarı % 1’den fazla ise, inert atık olarak değerlendirilemez.

3) Maden atığının kendiliğinden yanma ve dış etkenlerle yanma riski bulunmamalıdır.

4) As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, F, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Th, U, V ve Zn başta olmak üzere, maden atıklarının kısa ve uzun vadede çevre veya insan sağlığına zararlı olma potansiyeli bulunan maddelerin maden atığı içerisindeki miktarı çevre ve insan sağlığı için risk oluşturmamalı, bölgesel ve/veya yerel doğal eşik seviyeleri aşmamalıdır. Kamu kuruluşları tarafından belirlenecek olan bölgesel ve yerel eşik seviyeler belli olmadığı durumlarda risk analizine göre değerlendirilmesi gerekmektedir.

5) Sadece zenginleştirme atıkları için; kalıntı proses kimyasalları, 11112/2013 tarihli ve 28848 sayılı R.G.’de yayımlanan Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelikte belirtilen eşik konsantrasyon değerlerini aşmamalıdır.

Yönetmelik ekinde atık tesisleri içindeki su fazı kalitesinin belirlenmesi konusunda

ülkemizde yapılması öngörülen analizlere B, Ba, Be, F, Se, Sb, Sn, Th ve U elementlerinin de eklenmiş olması gibi konular, AB’de de tartışılmakta olan “aşırı mevzuatçılık” sorununu ülkemizde de yaratmaktadır. Bu konu, ülke madenciliğine önemli olumsuzluklar yaratacak nitelik taşımaktadır (Zanbak, 2015b).

Bu tür bir uygulama ayrıca; “*..ilgili mevzuat..*” gibi ‘belirsiz’ bir tanımlama altında, zaman ve mali açıdan oldukça önemli ek işlemler gerektiren uygulama sorunları yaratacak kapsamdadır (Zanbak, 2015c).

Nitekim, yeraltı madenlerinde macun dolgu gibi işlemler için *statik ve kinetik testler*, mineralojik, jeokimyasal ve hidrojeokimyasal incelemeler, hidrojeolojik, hidrolik hesaplama ve modellemeler, derine enjeksiyon bertaraf yöntemi için kurum/kuruluş raporu hazırlanarak bakanlık tarafından uygun görülürse “Maden Atığı Derine Enjeksiyon Onay Belgesi” düzenlenmesi öngörülmüştür. Fakat istenilen bu *testlerin* bir kısmının sadece yurt dışında yapılabilmesi göz ardı edilmiştir.

Böylece, Maden Atıkları Yönetmeliği EK-4/B’de “İnert Maden Atıkları”nın Belirlenmesi için tanımlanmış olan kriterlerin, madencilik uygulamalarında ileri düzeye ulaşmış ülkelerde uygulanan kriterlere göre çok daha kısıtlayıcı nitelik taşıdığı da ortaya çıkmaktadır. 1990’ların sonlarından beri Asit Kaya Drenajı (AKD) üzerine yapılan çalışmalar sonucu AKD analizi, metodu ve uygulamalarını belirleyen dökümana göre sülfür alt değeri %0,3, NP/AP oranı ise 2 olmalıdır. Yukarıda görüldüğü üzere, Yönetmelikte ise bu değerler “*sülfür (S-2) miktarı en fazla % 0,1*” ve “*(NP/AP) şeklinde tanımlanan ve statik teste dayalı olarak belirlenen değerin 3’ten büyük olması gerekir*” şeklinde yer almaktadır. Bu önemli konu, Maden Atıkları Yönetmelik metninde yer almamış bulunmaktadır (Zanbak, 2015c).

Tüm bu açıklamalar sonrasında belirtmek gerekirse, her maden sahası, her cevher kendine özgü özellikler taşımaktadır. Bu nedenle tüm madenler için tek tip bir *atık kriteri* koymak doğru değildir. Eğer bu böyle belirlenirse, bilimsel olarak çok büyük bir yanlışlık yapılmış olunur. Bu nedenle bazı şartları (örneğin, geçirimsizlik şartları sahaya özgüdür, dolayısıyla yönetmelikte detaya girilmemelidir) ifade ederken “mutlaka şu olacak, şu şekilde olacak” diye nitelendirmek yerine genel çerçeveyi belirlemek ve teknik ayrıntıyı *genelgelere* bırakmak, mevzuat uygulaması açısından her zaman daha uygun

bir yaklaşım tarzıdır (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014).

Bu konuda ayrıca, “sızdırmazlık kriteri” olarak sistemde kullanılan doğal ve/veya sentetik malzemelerden oluşan sistemin düşey hidrolik eşdeğer geçirimsizliğinin  $1 \times 10^{-8}$  m/sn veya daha düşük olması, uygulamanın ise bakanlıkça onaylanacak mühendislik tasarımına bırakılması daha gerçekçidir (Zanbak, Ağustos 2015b, c). Zira atık barajlarında en önemli husus dünyada uygulandığı gibi  $10^{-9}$  m/s geçirimsizliğinin sağlanması olmaktadır. Bu konuda öngörülebilecek esneklik uygulamayı kolaylaştıracaktır.

Diğer bir husus da, sülfür içermeyen ve suda dahi çözülmesi mümkün olmayan ve fiziksel işlemlerle zenginleştirilen madenlerin atıklarının *inert* olarak değerlendirilmesi gerekliliğidir.

Tabii, siyanür ve sülfürik asit kullanılarak kimyasal işlemde geçirilen madenlerin işlenmesi sonucu oluşan atıklar *tehlikeli* olarak değerlendirilebilir. Bu madenlerin atık barajları yönetmelikte bahsedildiği şekilde dizayn edilebilir. Zira, TÜBİTAK MAM tarafından yapılan değerlendirmede Zn-Pb flotasyon tesislerinden çıkan atıklar, madenin kimyasal yapısı değişmediğinden ve kullanılan reaktiflerin çöktürücü ve bastırıcı olarak kullanılmasından dolayı *inert atık* olmasına rağmen, halen tehlikeli atık olarak değerlendirilmeye devam etmektedir.

Dünya genelinde ise *maden atıkları* madencilik sektörünün çalışma ortamının diğer sanayi sektörlerinden farklılığı ve üretim miktarlarının büyüklüğü nedeniyle “özel işleme tabii atıklar” olarak değerlendirilmekte olup bunların yönetimi ne Tehlikeli Atıklar Yönetmeliklerine ne de Düzenli Depolama Yönetmeliklerine tabidir. Nitekim, bu nedenle AB müktesebatına uygun olarak hazırlanmış olan 2008 tarihli AYGEİY, *maden atıklarını*, genel atık yönetmeliği kapsamı dışında bırakmıştı (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014).

Üstelik AB’de yalnızca, Zararlı (Tehlikeli) Atık (Tehlikeli Atıkların Kontrolü Direktifi Madde 1(4)’e göre, eğer bir *maden atığı*, atığı tehlikeli yapan 15 adet özellikten bir veya daha fazlasını içeriyorsa ancak “tehlikeli atık” kategorisinde değerlendirilecektir”. Bu özellikler için bakınız (Karapınar, 2011).

AB mevzuatından farklı olarak, Türkiye’de ise *maden atıkları* “sanayi atığı” gibi değerlendirilmektedir.

Bu hatalı yönelimle Maden Atıkları Yönetmeliği’nde mevcut TAKY’ye ve

ADDDY’ye atıflar ve alıntılar yapılmak suretiyle *maden atıkları*, AYGEİY ile çelişecek şekilde, “özel atık” olmaktan çıkarılmıştır.

Bu tür bir yaklaşım, hukuk tekniği açısından bir çelişki yaratmasının yanı sıra, kamuoyunda algı olarak maden atıklarının adeta “tehlikeli atık” olarak görülmesine neden olacak niteliktedir. Zira ülkemizin jeolojik yapısı ve gerçekleri göz ardı edilmektedir. Bünyesinde % 0,1 kükürt içeren bir malzemenin *tehlikeli* malzeme olarak ilan edilmeye kalkışılması başta Karadeniz bölgemiz olmak üzere ülkemizin birçok yöresinde milyonlarca sene önce kendiliğinden oluşmuş, yer kabuğunun derinliklerinden yüzeye çıkmış, % 0,1’in çok üzerinde sülfürlü bileşime sahip milyarlarca ton doğal malzemenin değerlendirilmeden (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014) yeraltında atıl olarak bırakılmasına sebep olacaktır. Bu itibarla, ülkemizde doğrudan tercüme tanımlamalarla *maden atıklarının*, kimyasal içerikli sanayi atıkları gibi, kamuoyunda *tehlikeli atık* olarak algılanmasına ortam oluşturulmaması gerekmektedir (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014). Zira ülkemiz dışından mevzuatların birebir alınması ve uygulanmaya kalkışılması, aslında söz konusu alıntısı yapılan ülkelerin uygulamasında bile ortaya çıkmayan çok ağır bir tablonun ülkemizde ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Sonuç olarak Maden Atıkları Yönetmeliği’nde *maden atıklarının sınıflandırılması* belirlenmiş gibi görünse de aslında durum anlaşılır değildir. Bununla birlikte, sadece *atık karakterizasyonunun* yapılarak atığın sınıfının belirlenmesi dahi en az 3-6 ay zaman alacağından bu belirsizlik daha da büyümektedir.

Maden Atıkları Yönetmeliği’nde; maden atıklarının; kamuoyunda ve hatta çeşitli devlet kurumları temsilciliklerinde dahi yanlış algılamalara neden olabilecek “tehlikeli, tehlikesiz, ne tehlikeli ne tehlikesiz atıklar”.. şeklindeki tanımlamalar yerine; madenlerin mineralojisi, içerdiği bileşikler ile cevher hazırlama / zenginleştirme yöntemlerine göre isimlendirme yapılması ve buna uygun içerik belirlenmesi daha yararlı olacaktır. Örneğin; sülfür içeren madenler, asit maden potansiyeli olan (kalkopirit, pirit, sfalerit, galen gibi) madenlerin atıkları, siyanür veya asitle zenginleştirilen madenlerin atıkları gibi isimlendirmeler -ve içerikler- ile veya “Sınıf 1”, “Sınıf 2” ve “Sınıf 3” olarak tanımlanmaları uygun olabilecektir.

Önerilen bu tanımlamaların teknik içerikleri AB mevzuatı ile aynı olabilir (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014). Zambak'a göre de, bu yönetmelikte atıklar için bu tanımların kullanılması, toplum algılaması/psikolojisi açısından, uygulamada sorun yaratacak nitelik taşımaktadır. Yayımlanmış olan yönetmelikte, toplum algısı üzerinde olumsuz bakış açısı yaratma olasılığı bulunan bu konu Maden Atıkları Yönetmelik metninin hazırlanmasında dikkate alınmamıştır (Zambak, 2015c).

## 2.2 Maden Atıklarının Depolanması / Bertarafı

Maden atıkları bertaraf edilirken aşağıdakilerden birinin veya birkaçının gerçekleşmesi amaçlanır (Arol, 2002):

i. *Yeniden Kullanım*: Madencilikte atık olarak nitelendirilen birçok madde, uygun yerlerde kullanılması durumunda yararlı hammadde olarak değer kazanabilir. Dolayısıyla, atıkların, mümkün olduğu durumlarda yeniden değerlendirmeye olanak tanıyacak şekilde bertaraf edilmesi ve projelerin bu doğrultuda yapılması gerekir.

ii. *Tecrit*: Atıkların, doğrudan veya bir etkileşim sonucu çevreyi kirletmesi söz konusu ise tecrit edilmeleri gerekir.

iii. *Katı-Sıvı Ayırımı*: Birçok durumda, çamur şeklindeki atıkların içerdiği katı ve suyun birbirinden ayrılması bertaraf yönteminin ana amaçlarından biridir.

iv. *Dolgu Malzemesi*: Özellikle değişik boyutlardaki katı atıkları madencilik faaliyetleri sırasında; yeraltı ocaklarında, atık barajı seti yapımında; çevre veya su yollarının düzenlenmesinde, yol yapımında, dolgu malzemesi olarak kullanılmak atık yönetimi ekonomisi yönünden oldukça önemlidir.

v. *Kimyasal Tepkime*: Atıklar; ağır metal, çöktürme, siyanür parçalama ve asit kaya sızıntısının nötrleştirilmesi uygulamalarında olduğu gibi özel olarak kimyasal işleme tabi tutularak, istenilen özelliklere sahip olması sağlanır (Arol, 2002).

Maden Atıkları Yönetmeliği'nin 8. maddesine göre maden işletmecisi; inert maden atıklarının alan ıslahı, dolgu, restorasyon amaçlı kullanımı veya depolanmasına dair EK-4/C'ye göre hazırladıkları raporu Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri'ne sunmakla yükümlüdür.

Bunun için öncelikle bu yönetmelikte tanımlanan "maden atık bertaraf (depolama) tesis sınıflandırma" kriterlerine (Maden Atık Yönetmeliği EK-5'e) göre, maden atıklarının "Kategori A" veya "Kategori B" sınıfı

tesislerde bertaraf edilmesi öngörülmüştür. AB mevzuatına benzer olarak ülkemizde; yüksek can kaybı potansiyeline, insan sağlığına ciddi tehlike oluşturacak ve önemli çevresel etkilere sahip atıkların "Kategori A" sınıfı tesislerde, insan sağlığına etkileri daha az çevresel atıkların ise "Kategori B" sınıfı tesislerde *depolanması* öngörülmektedir (Çiz. 1).

Çizelge 1. Atık bertarafı için kategoriler ve risk değerlendirme sonuçları

Kategori	Risk Değerlendirme Sonucu
A	Yüksek can kaybı potansiyeli
	İnsan sağlığına ciddi tehlike
	Ciddi çevresel etki
B	Düşük can kaybı potansiyeli
	İnsan sağlığına ciddi olmayan tehlike
	Ciddi olmayan çevresel etki

Maden atık bertaraf tesisi sınıflandırma kriterleri (EK-5)'te şu şekilde belirlenmiştir: Atık bertaraf tesisinde oluşacak *tehlikeli atık miktarının* (A), tesiste oluşacak atık miktarına (B) oranı A/B %50'yi aşıyorsa tesisin "Kategori A", bu oran %5'in altında ise "Kategori B" olacağı öngörülmüştür. Ancak A/B oranı %5 ve %50 arasında ise tehlikeli atığın etkileri üzerine bölgeye özel yapılan *risk değerlendirmesinin sonucuna* göre "Kategori A" veya "Kategori B" olarak sınıflandırılacaktır (Çiz. 2).

Çizelge 2. Tehlikeli atık miktarına göre atık bertaraf tesisi kategorileri

Kategori Türü	A/B (%)
"Kategori A"	> 50
"Kategori A veya B" (?)	5 - 50
"Kategori B"	< 5

Burada; bir tesis, kapanmadan sonraki izleme süresi de dahil, kısa veya uzun vadede yapısal bütünlüğü veya işletilmesi ile ilgili bir uygunsuzluk durumunda çevre ve insan sağlığı üzerinde ciddi sorunlara yol açıyorsa ya da bu yönde bir risk taşıyorsa, "Kategori A" olarak değerlendirilecektir.

Ancak, özellikle söz konusu A/B oranı % 5 – 50 arasında olduğu takdirde Çizelge 1'de yer alan *risk değerlendirme sonuçlarının* nasıl yorumlanacağına belli olmaması nedeniyle, atık bertarafı için yapılan bu kategoriler ileride uygulamada sorunların oluşmasına yol açabilecektir.

Bu suretle tehlike boyutu derecesine göre maden atıkları için “yüksek can kaybı potansiyeli olan, insan sağlığına ciddi tehlike ve çevresel etkilere sebep olacak” şeklindeki ifade, tehlike düzeyi %5’e yakın halde dahi gündeme getirilebilecek ve buna karar verecek mercilerin yeterli altyapıya sahip olmaması da dikkate alındığında ilgili yönetmelik hükümlerinin öngörülmesi ülkemiz madenciliğine zarar verebilecektir.

Maden Atıkları Yönetmeliği m.8’e göre maden işletmecisi, “Kategori A” tesisler için 30.12.2013 tarihli R.G.’de yayımlanan “Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik” hükümleri doğrultusunda gerekli bildirimleri yapmakla yükümlüdür.

Maden Atıkları Yönetmeliğinin 4. maddesine göre “Büyük kaza”: “Herhangi bir maden atığı bertaraf tesisinin işletilmesi esnasında, tesis içinde veya dışında çevre ve/veya insan sağlığı için anında veya daha sonra ciddi tehlikeye yol açabilen bir olayı veya birden fazla tehlikeli maddenin sebep olduğu büyük bir yayılım, yangın veya patlama olayını” ifade etmektedir.

Aşağıdaki şekilde bir atık barajı kazası görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Atık barajı kazası (Karaca, 2012)

Ancak bu kaza “büyük kaza” olarak nitelendirilebilecek bir atık barajı kazası değildir. Sadece baraj gövdesinde bir yırtılma ile oluşmuş bir kazadır.

İnsan sağlığı için ciddi tehlike yaratmayacak boyutta hafif kazalarda dahi, yukarıda gösterilen, risk değerlendirmesi çalışmaları için bir teknik ayrıntı olarak öngörülen tanımlamalar, kamuoyunda yanlış anlamalara sebep olabilecek niteliktedir. Üstelik Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın, yüksek can kaybına sebep olacağını ifade

ettiği bu atıkların depolanmasına izin veren bir makam olacağı göz önünde bulundurulursa Bakanlık, izin vereceğini ifade etmiş olsa bile hiç kimsenin yüksek can kaybı potansiyeline sahip bir atığın depolanmasına razı olması mümkün görünmemektedir (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014).

Bu başlıkta bir diğer önemli husus da Yönetmeliklerde “bertaraf” tabirinin kullanılmasıdır. Atık Yönetimi Yönetmeliğinin 4. maddesine göre “bertaraf”: İkincil amacı enerji geri kazanımı olsa dahi geri kazanım olarak kabul edilmeyen ve Ek-2/A’da yer alan işlemlerden herhangi birini ifade etmektedir. Tanımda görüldüğü üzere, “geri kazanım”ın kabul edilmediği işlemler olan “bertaraf”, maden atıkları için de istenmektedir.

“Bertaraf” tanımı kamuoyunda “yok etme” olarak kabul görmüş ve çevre mevzuatımızın çeşitli yönetmeliklerinde genelde sanayi ve evsel atıkların üretildiği kaynaklardan farklı mekânlara “taşınarak yönetilmesi”ni belirten bir tanım olmasına rağmen maden atıkları için de “bertaraf” öngörülmektedir.

Burada kastedilen tabiki milyonlarca ton maden atığını “yok etmek” değil, maden işletme sahasında gerekli çevre önlemleri alınmak suretiyle “depolamaktır”. Zira az atık üretilmesi elbette atık yönetiminin ilk ve önemli basamağını oluşturmaktadır. Ancak söz konusu yönetmelikte maden atıkları için de “depolama” ifadesi yerine hatalı bir yönelimle “bertaraf” kelimesi kullanılması tercih edilmiştir (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014).

Bununla birlikte, Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği’ne göre bu tesislerin “Çevreye Kirlenici Etkisi Yüksek Olan Faaliyet veya Tesisler” arasında sayılması da anlaşılır değildir.

Bu başlıkta önemli diğer bir husus ise Maden Atıkları Yönetmeliği’nde; pası, atık depolama ve liç alanlarının şev stabilitesi ve taban geçirimsizliği konularında, kullanılacak malzemelerin, cinsi, jeomembran kalınlığı gibi teknik özelliklerin verilmiş olmasının tasarım tekniği açısından hukuken bağlayıcı olmasıdır (Zanbak, 2015c).

Maden Atıkları Yönetmeliği’nin 11. maddesinde; hem tehlikeli hem de tehlikesiz maden atıklarının depolanacağı tesisler için, 50 cm sıkıştırılmış kil (kil yoksa jeotekstil), jeomembran ve drenaj kompozit malzemesinin beraber kullanılması istenmektedir. Aşağıdaki şekilde atık

depolanması için arazide serilmiş malzemeler izlenmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Atık depolama için malzeme serme işlemleri (Karaca, 2012)

Nitekim geçmişteki uygulamalarda, örneğin atık depolama alanlarında uygulanacak sızdırmazlık yöntemi olarak "jeomembran ve benzeri" uygulamalar zorunlu tutulmaktaydı (Sektörden Haberler Bülteni, 2012).

Atık havuzunun kurulacağı alanın yapısal özellikleri ve atığın karakteri ise göz ardı edilmektedir. Bazı bölgelerde ve atık türlerinde sızdırmazlığın, kil gibi düşük maliyetli maddelerle sağlanabilmesi mümkünken, atık alanına jeomembran serilmesi istenmekteydi. Bu durum mühendislik anlayışına ters olduğu gibi ekonomik zorlukları ve çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir (Sektörden Haberler Bülteni, 2012).

Avrupa Birliği ülkelerinde ise bizdeki uygulamalardan farklı olarak sahanın jeolojik yapısı, yeraltı suyu, yerleşime yakınlığı gibi koşullar göz önüne alınmak suretiyle yalnızca tehlikeli atıklar için, atık barajlarında 50 cm. kil ve üzerine jeomembran + drenaj kompozit uygulaması zorunlu tutulmuştur.

Buna karşın ülkemizdeki uygulamalarda feldspat atık barajlarına dahi tehlikeli atık barajlarındaki uygulamanın aynısı istenebilmektedir. Bu hatalı ve hakkaniyetsiz uygulamanın Maden Atıkları Yönetmeliğiyle devam ettirileceği görülmektedir.

### 2.3 Maden Atıklarının Mevzuat Çerçevesinde Yönetimi

Gelişmiş ülkeler madenler sayesinde gelişmesini sağlamışlardır. Sürdürülebilir kalkınmanın gereği olarak, çevreyle uyumlu

madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi şarttır. Nitekim, Maden Atıkları Yönetmeliği'nin 1. (Amaç) Bölümünde; bu Yönetmeliğin amacı; "Madenlerin aranması, çıkarılması, hazırlanması/zenginleştirilmesi veya depolanması sonucunda ortaya çıkan atıkların üretiminden nihai bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde yönetilmesine ilişkin usul ve esasları düzenlemek" olarak belirlenmiştir.

Maden Atıkları Yönetmeliği EK-1'de "atık yönetim planı"nda yer alması gerekenler belirtilmiştir. Buna göre;

-Maden atığının depolandığı alanın jeoteknik, jeokimyasal davranışları,

-Maden atığının karakterizasyonu, atığın miktarı ve maden atık bertaraf tesisinin sınıfı,

-Maden atıklarının geri kazanım, yeniden kullanımı ya da maden sahası dışında başka bir sektörde hammadde olarak kullanılması düşünülmüyorsa, bunlara ilişkin bilgiler,

-Maden atıklarının işletme, kapatma ve kapatma sonrasında alınacak önlemler,

-Çevresel izleme planı gibi hususlar yer almalıdır.

Çevre ve insan sağlığı açısından bazı atıkların yönetimi daha kolaydır, bazılarının ise daha zordur. Ama sonuçta maden atıkları, alınan önlemlerle çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetilebilen atıklardır (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014).

Elbette çevre ve insan sağlığı açısından her faaliyette çeşitli riskler vardır. Önemli olan bu riskleri önlemek, önlenemiyorsa da en aza indirecek tedbirlerin alınmasını sağlamaktır. Maden atıklarında riskler tanımlanabiliyor, bu risklere ve olası etkilere karşı önlemlerimiz de varsa o riskler yönetilebilir riskler olmaktadır (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014).

Ancak bu noktada, yönetmelik kapsamında "atıkların nasıl yönetileceği" konusunun sorunlu olduğu görülmektedir.

Bu Yönetmeliğe göre maden atıklarının karakterizasyonunun ÇED yeterli belgesine ya da çevre danışmanlık yeterli belgesine sahip kurum ve kuruluşlar tarafından yapılması öngörülmüştür.

Maden Atıkları Yönetmeliği madde 8'e göre; maden işletmecisi; maden atıklarının miktarının azaltılması, işleme tabi tutulması, geri kazanımı, yeniden kullanımı, maden sahası dışında başka bir alanda hammadde olarak kullanılması ve bertarafına yönelik "Atık Yönetim Planı"nı EK-1'de belirtilen esaslar doğrultusunda ÇED Raporu veya Proje Tanıtım Dosyası Ekinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na veya İl



Müdürlüğü'ne sunmakla, *atık yönetim planını* 5 yılda bir gözden geçirmekle yükümlüdür. Ayrıca maden işletmecisi ÇED belgesi veya muafiyet belgesi olan tesisi için, 30.06.2017 tarihine kadar atık yönetim planlarını hazırlatıp onaya sunmak zorundadır.

Maden Atıkları Yönetmeliği yayınlanmadan önce, ÇED sürecinde atıkların nasıl yönetileceği zaten ele alınmakta ve her projede atık karakterizasyonuna bağlı olarak alınan önlemlerin yeterli olup olmayacağı sorgulanmaktaydı. Ayrıca ÇED sürecinden sonra ve işletmeye geçmeden önce *atık yönetim planı* da Bakanlığa sunularak onay alınmaktaydı (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014). Son olarak Maden Atıkları Yönetmeliği'yle bu gerçek dikkate alınarak yukarıda belirtilen gerekli değişikliğin yapılması olumlu olmuştur.

*Atık yönetim planının* amaçları elbette; atık oluşumunu önlemek veya azaltmak, atıkların geri kazanımını teşvik etmek ve atıkların olumsuz etkilerini önleyebilmek olmalıdır. *Atık yönetim planı* özellikle kontrol ve izleme yöntemlerini, atık tesisinin kapatılması ve doğaya yeniden kazandırılması konularını da kapsamalıdır (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006).

ÇED sürecinde alınan önlemler yeterli görülmez ise o projenin gerçekleşmesine zaten izin verilmemektedir. Dolayısıyla Maden Atıkları Yönetmeliği'nde sanki böyle bir süreç yokmuş gibi davranmanın doğru olmadığı açıktır. Bu bağlamda, aynı Bakanlıkta ÇED ve maden atıklarının yönetimi konusunda yürütücü iki genel müdürlük arasında bir koordinasyon olmasında yarar bulunmaktadır (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014).

Bu doğrultuda, ilk etapta hangi atığın "Kategori A" sınıfında veya "Kategori" B sınıfında depolanacağı ÇED sürecinde belirlenirken, Maden Atıkları Yönetmeliğinin 6. ve 7. maddelerine göre bu konuda yetkinin Çevre ve Şehircilik Bakanlığına ve Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerine ait olduğu belirlenmiştir.

Ancak; bahsedilen kurum ve kuruluşların madencilik faaliyetleri konusunda yeterli bilgi birikimine sahip olup olmadığı konusu tartışmaya açıktır. Zira taşra teşkilatının yer bilimci uzman ve mühendis açısından yetersiz olması, madencilik konusunda kısıtlı deneyimin bulunması gibi durumlar madenciliğin merkez ve taşra teşkilatında yeterince anlaşılmasına yol açacağından ayrı bir sorun yaratacaktır. Madencilik

sektörü açısından tüm bu sorunlar oluştuğu gibi, TTK ve TKİ gibi kurumlar açısından da sıkıntılar yaşanacaktır.

Dolayısıyla tüm bu durum dikkate alınarak, doğrudan madenciliği ilgilendiren bu Yönetmeliğin, sadece Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yerine, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile birlikte hazırlanması ve yönetilmesi daha gerçekçi olacaktır (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014). Çünkü yıllardan bu yana ülkemizde madencilik dışı diğer tüm sektörlerin yarattığı çevre kirliliği yeterli derecede kıyaslanmadan, madenciliğin çevreyi kirlettiği anlayışı yerleştirilmeye çalışılmış, bu durum maden mevzuatında onlarca bakanlığın ve mevzuatın uygulamalarının çatıştığı bir ortam oluşturmuştur. Bu konu içerisinde "atık" konusu da yer almakta ve mevcut tablo yatırımcıları madencilik yapmaktan vazgeçirmektedir.

Diğer bir konu depolama *izni ve lisansı* konusudur. Maden Atıkları Yönetmeliği madde 8'e göre *maden işletmecisi*; Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği gereğince maden atığı bertaraf/geri kazanım tesisi için *çevre lisansı* almakla yükümlüdür.

Ancak bu yönetmelik hükmü; miktar ve nitelikleri açısından, yönetimi diğer sanayi atıklarından çok farklı olan ve her bir işletmede birden fazla pasa ve cevher depolama sahası bulunabilen madencilik projelerini "*sanayi atıkları için geri kazanım ve bertaraf hizmeti veren tesisler*"e uygulanan izin ve lisanslar kapsamına alacak nitelik taşımaktadır (Zanbak, 2015c).

Cevher zenginleştirme tesis atıklarının bertarafı için *düzenli depolama* en uygun yöntem olarak görülmektedir. Buna göre işletmecinin iki seçeneği bulunmaktadır: 1) Atığı lisanslı bir düzenli *depolama tesisine* göndermek, 2) Atığını kendi bünyesinde, kendine ait düzenli depolama tesisinde *depolamak*. Maden atıklarının her bir maden tesisi için yüz binlerce ve hatta milyonlarca tonluk miktarı düşünüldüğünde; bu *atıkların*, zaten ülkemizde evsel ve sanayi atıkları için yeterli sayısı ve kapasitesi bulunmayan, lisanslı düzenli depolama tesislerine gönderilmesi fiziksel olarak dahi mümkün olmayacaktır. Ayrıca *atığın*, tesise kabul kriterlerini yerine getirebilmesi için bir dizi *teste* tabi tutulması da gerekmektedir; ki bu konunun maden atıklarının çeşitlilik / değişkenlik özellikleri açısından pratikte uygulanması da mümkün değildir. İşletmecinin kendi düzenli *depolama tesisini* kurması halinde öncelikle bu tesis için *lisans* alması gerekmektedir. Düzenli depolama izin

sürecinde; ÇED (gerekli değildir / uygundur) süreci içinde “Atık Tesisi” için ayrı bir ÇED alınması gerekmektedir (TMD Çevre Birimi, 2011).

Bu yükümlülüğe ek olarak, bir maden işletmesinde birden çok pasa depolama, düşük tenörlü cevher stoklama alanları, çöktürme havuzu, atık barajı bulunduğu ve de yeraltı rambles/dolgu uygulaması yapıldığı göz önüne alındığında, en azından sayıları 3-4’den çok “bertaraf tesisi lisansı” alınması gerekeceği görülecektir. “Maden Atık Depolama Tesisleri” maden işletmelerinin ayrılmaz parçasıdır. Bu noktada Zanbak’a göre her bir maden işletmesi için bu şekilde 3-4 (ve daha fazla) tesisin her biri için izin/lisans istenmesi, zaten Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği kapsamında gerekli izin ve lisanslar alma durumunda olan *maden işletmeleri* için ek olarak, ve hatta küçük ölçekli maden işletmeleri için uyulması teknik, mali ve idari açıdan mümkün olmayacak yükümlülükler getirebilecektir. Halbuki *maden atık tesislerinin* (atık barajı, atık göletleri, atık çöktürme havuzları, pasa depolama alanları gibi hususların), hazırlanacak bir *atık yönetim planı* içinde, tüm işletme için alınacak izin/lisanslar kapsamına alınması önerilmesine rağmen, bu öneri kabul görmeyerek, uygulamada her bir ünite için izin/lisans alınması zorunluluğu ortaya çıkarılmıştır (Zanbak, 2015b).

Hatta *maden arama faaliyetlerinde* dahi *atıklar* için izin/lisans alınması öngörülmüştür. Madencilikte *aramalar*, işletme/üretim faaliyeti öncesinde, prospeksiyonla başlayıp Maden Kanunu gereğince ruhsatı alınmış sahalarda jeolojik haritalama, jeokimya ve jeofizik çalışmaları ile sondaj, yarma, galeri sürme gibi faaliyetleri içeren faaliyetlerdir.

Yapılacak her bir *maden arama* çalışması için yasal düzenlemelerle çevre izin/lisans gereksinimi getirmek, ülkemizde zaten kısıtlı mali olanaklarla varlıklarını sürdürmeye çalışan madencilik sektörünün önünü kesecektir.

Bu durum önceden düşünülerek, AKD oluşturma potansiyeli olan sülfürlü metal cevher aramalarında (örneğin, yüksekliği 5 metreyi aşan) yarma ve galeri sürme türü faaliyetler dışındaki *maden arama faaliyetlerinin*, ÇED Yönetmeliği kapsamındaki Proje Tanıtım Dosyası ve ÇED Raporunda alınması gerekli önlemler belirtilmek kaydıyla, bu Maden Atıkları Yönetmeliğinin “izin / lisans gereksinimi” dışında tutulması önerilmiş ve bu konunun ülkemiz madenciliği için önem arz ettiği

taslaklar üzerindeki sektör görüşlerinde defalarca vurgulanmıştı. Buna karşın, tüm *maden arama faaliyetleri* de söz konusu Maden Atıkları Yönetmeliği kapsamına alınmış bulunmaktadır (Zanbak, 2015c).

Tüm bu sorunlar dikkate alındığında, mevzuatını örnek aldığımız AB’deki ve ülkemizdeki *atık* durumunun hatırlatılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

AB uygulamalarında her üye ülke kendi gerçeklerine göre hareket ederek *maden atıklarını* çevreye zarar vermeden yönetmektedir. Ülkemizde ise ÇED’in uygulamaya girdiği 1993 yılından önceki projelerden kalma pek çok kötü örnek olduğu gibi günümüzde AB standartlarından ve AB ülkelerindeki uygulamalardan daha iyi düzeyde birçok *maden atık yönetim* örneği de bulunmaktadır. Nitekim Maden Atık Yönetmeliği çalışmalarında; AB eşleştirme komitesi uzmanlarının, ülkemizin atık envanterini değerlendirme çalışmaları sonucunda yazdıkları raporda da ifade ettikleri üzere Türkiye’nin “maden atık” karnesinin çevre değerleri açısından pek de yetersiz olmadığı ortaya konmuştur (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014).

Dolayısıyla ülkemizdeki bu başarılı *maden atıklarının yönetimi* uygulamalarındaki örneklerin yönetmelikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Madencilik Türkiye Dergisi, 2014).

Sadece AB değil, dünyadaki diğer pek çok ülke uygulamalarında da *maden atıkları*, imalat sanayi atıklarının *yönetimi* ile ilgili mevzuat kapsamı dışında tutularak, özel yasal düzenlemelerle yönetilmektedir. Söz konusu AB Maden Atıkları Yönergesi’nde ayrıca *maden atıkları yönetimine* yönelik olarak “biriktirme / depolama” terimleri kullanılarak, bu uygulamaların yapıldığı yerler “Maden Atığı Tesisi” olarak tanımlanmakta ve fakat bu tesisler için “Atık Bertaraf Tesisi” tanımı ise kullanılmamaktadır (Zanbak, 2015c).

Tüm bu mevzuat ve uygulama tablosunda *atıkların geri kazanımının* öncelikli hedef tutulduğu bir *atık yönetiminin* süratle ülkemize de getirilmesi zorunludur.

## 2.4 Atıkların Geri Kazanılması-Finansal Teminat Konuları

Madencilik faaliyetlerinde, cevherin alınması sırasında yapılan kazılar ve zenginleştirme işlemleri sonrasında ortaya çıkan ve miktarları milyonlarca ton mertebesindeki pasa ve atıklar, maden işletme ruhsatı sahasında depolanmaktadır (Zanbak, 2015c).

Madencilik faaliyetlerine göre cevher zenginleştirme yöntemleri de değişmektedir. Buna bağlı olarak; zenginleştirme prosesi sonrası çıkan *atık* nitelikleri de farklılık göstermektedir. Ayrıca madencilik faaliyetleri sonrası açığa çıkan ve bugün “atık” olarak nitelendirilen maddeler yarın uygulanacak başka bir teknoloji ile *ürüne* dönüştürülebilir. Bu noktada sorulması gereken ilk soru; her zenginleştirme sürecinden çıkan *atık*, “atık” mıdır? Ancak özellikle 2015 yılında önce; gerek Bakanlığın yürüttüğü çalışmalara gerekse konuyla ilgili Bakanlıkta yapılan görüşmelere göre *zenginleştirme süreci* ne olursa olsun, elinde bulduranın mevcut koşullarda değerlendiremeyip elden çıkardığı ya da yürürlükteki mevzuat hükümlerine göre atmak zorunda olduğu herhangi bir madde “atık” olarak tanımlanmaktaydı. Bu suretle cevher zenginleştirme ürünlerinin dahi doğrudan, AYGİİY EK 2-A’da belirtilen yöntemlerden uygun olanı seçilerek bertarafının sağlanması öngörülmüştü (TMD Çevre Birimi, 2011).

AB uygulaması ile daha iyi bir uyum sağlayan 02.04.2015 tarihli Atık Yönetimi Yönetmeliği Madde 19 (1) deki “Yan Ürün” tanımına göre ise, üretildiği süreçteki pazar durumu veya dünya cevher piyasasındaki değişken fiyatlar nedeniyle madencilik ürünü olarak değerlendirilemeyen ve ruhsat sahasında stoklanan düşük tenörlü cevher pasaları “*maden atığı*” olarak isimlendirilmektedir ve Bakanlık uygunluk görüşü ile de, bunlar “yan ürün” olarak kabul edilebilecektir (Zanbak, 2015c).

Ancak, 15 Temmuz 2015 tarihli “Maden Atıkları Yönetmeliği” –bu olumlu nitelikteki mevzuat hükmünün madencilik sektörüne uygulanabilir olmaması gerekçesiyle sektörece taslaklar üzerinde karşı çıkılmasına rağmen- “*maden atıklarını da, diğer sanayi atıkları gibi, idari geri kazanım prosedürlerine tabi olacak*” konuma sokmuş bulunmaktadır (Zanbak, 2015b).

Bu konuda ayrıca, mevzuattaki sorunlara hızlı çözümler getirme yöneliminde “sondaj çamurları” ile ilgili 04.07.2012 tarihinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan “Sondaj Çamurlarının ve Krom Madeninin Fiziki İşleme Tabi Tutulması Sonucu Ortaya Çıkan Atıkların Bertarafına İlişkin Genelge (2012/15)” de beraberinde birtakım zorluklar getirmişti (Sektörden Haberler Bülteni, 2012). Bu genelgenin ardından yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği EK-4 Listesinde ise sondaj

çamuru atıklarının bir kısmı “tehlikeli atık” olarak nitelendirilmiştir.

Bu noktada belirtilmelidir ki geçmişte madenlerin işlendiği prosesin (fiziksel işlem, ısıl işlem, kimyasal işlem, vb.) bilinmemesi nedeniyle *atıkların sınıfına* dahi karar verilememekteydi. Örneğin; 2010 yılında sallantılı masada zenginleştirme işlemi yapılan tesiste atık içerisinde bulunan (Krom) Cr için, Cr<sup>6</sup> içerebilir diye “tehlikeli atık” kapsamında değerlendiriliyordu. Ancak, Cr<sup>3</sup>’nin ancak ısıl işlem görmesi halinde Cr<sup>6</sup>’ya yükseltgeneceğini ve burada yapılanın fiziksel işlem olduğu anlatıldıktan sonra “tehlikeli atık” olarak değerlendirilmekten çıkarılmıştır.

Yeni yönetmeliğin EK-4 inert atık listesinde, Krom (Cr) madeninin fiziksel olarak zenginleştirilmesinden kaynaklanan atıkları bulunmamaktadır. Bu liste dışında kalan madenlerden kaynaklanan atıkların, “inert maden atığı” olarak tanımlanabilmesi için EK-4/B’de belirtilen şartları taşıyıp taşımadığı değerlendirmesi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve bu Bakanlığa bağlı il müdürlüklerinin söz konusu konudaki kararına bağlıdır.

Diğer yandan, eğer mümkünse *atıkların geri kazanılması* atık yönetiminde birincil öncelik olmalıdır (Şekil 4).



Şekil 4. Bakanlık Atık Yönetimi Hedefi (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011)

Şekilde görüldüğü üzere Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020 yılının atık yönetimini; –“bertaraf” ve “düzenli depolama”nın asgari ölçüye indirgenmesi hedefinde, mümkünse sadece “önleme” ve “geri kazanım” olarak belirlemiştir. Bu hedefin gerçekleştirilebilmesi için *maden atıklarının* diğer atıklardan farklı olarak tanımlanması ve değerlendirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Madencilik faaliyeti sırasında kimyasal ya da ısıl işlem

görmeyen, sadece fiziksel yöntemlerle işlenen ve günün şartlarına göre ekonomik olmayan ancak, ileride ekonomikliğine göre sonradan değerlendirilebilecek malzemelerin Yönetmeliklere göre *maden atığı* olarak değerlendirilmemesi gerekmektedir.

Örneğin; bugün için fiziksel yöntemlerle üretilen krom cevherinin işlemden geçirildikten sonra şu an için ekonomik olmayan kısmındaki Cr % si 1-3 arasında olmaktadır. Buna “atık” denmesi mümkün değildir. Bu durum, buna benzer şekilde bugün ekonomik olarak işlenemeyen düşük tenörlü cevherlerin ileride ekonomiye kazandırılabilmesi hususunun mevzuatta göz ardı edildiğini göstermektedir.

Bu başlıkta son olarak diğer bir konu da, Maden Atıkları Yönetmeliği madde 8’e göre; *maden işletmecisinin*, “Kategori A” maden atığı bertaraf tesisi için *finansal garantiyi* yaptırmakla yükümlü kılınmasıdır.

Ancak bu Yönetmelikte bu madde dahil bazı maddelerde “Mali Teminat ve Finansal Garanti” ifadeleri geçtiği halde, yönetmeliğin “Tanımlar” kısmında bu terimin açıklanmasına yer verilmemiş ve nasıl uygulanacağı belirtilmemiştir. Bu konu, yönetmelik uygulaması sürecinde önemli bir idari sorun kaynağı olma niteliği taşımaktadır (Zanbak, 2015c).

Belirtilmelidir ki, sahihsiz maden atıklarının çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla yeni bir finans sistemi geliştirilmesi ve bu finans sisteminin atık tesisinin kapatılması ve kapatma sonrası bakımı ile ilgili maliyetleri de içermesi gerekmektedir. Bu *finansal teminat* şu unsurlara göre belirlenebilir: a) Tesisin olası çevresel etkileri, b) Atık özellikleri, rehabilite edilecek alanın gelecekteki kullanımı c) Ek olarak, bağımsız ve uygun nitelikte üçüncü bir tarafın gerekli rehabilitasyonu yapacağı varsayımının da dikkate alınması gerekir (Çetiner, Ünver ve Hindistan, 2006).

Nitekim, maden şirketlerinin iflası halinde kullanılmak üzere bir *mali teminat* vermeleri, iflas halinde maden sahasının başarılı bir şekilde kapatılması adına faydalıdır. Ancak garantinin bankada nakit şeklinde olmasının istenmesi maden şirketlerinin yatırım kabiliyetini sınırlayan aşırı bir kısıtlama ortaya çıkarabilir. Burada istenen, iflas halinde maden kapatma güvencesini sağlayacak geniş çerçevede bir *mali teminat* olmalıdır (TMD, 2011).

Ayrıca konuyla bağlantılı olan bir başka husus ise madencilik faaliyeti sonrası bakım faaliyetlerinin ne kadar sürdürülmesi

gerektiğinin anlaşılması konusudur. Bazı durumlarda, 30 sene önce açılmış ve hâlâ işletilmekte olan bir madende, maden kapatıldıktan sonra süresiz bir şekilde suyu arıtmaya devam etmek zorunda kalınabilmektedir. Elbette, böylesi süresiz bir işin maliyetini hesaplamak çok zordur. Yetkili makamların bu tür süresiz maliyetlerin nasıl karşılanabileceği konusunda daha bilinçli ve esnek olmaları gerekmektedir. Bu konuda çözüm için gelir getiren bir fonun kurulması AB içerisinde örnek olarak önerilmiştir (TMD, 2011).

### 3. SONUÇ

1960’lı-1970’li yıllarda AB sanayileşmesini tamamlamışken, bu yıllardan itibaren çevre mevzuatları çıkarmaya başlamıştı. Devamındaki yıllarda ülkemizde ise henüz sanayileşme tamamlanmamasına karşın, AB’ye uyum çerçevesinde çevre mevzuatları çıkarılmıştır. Bu mevzuatlar, yıllardan bu yana madencilik konusunda yeterli bilgi ve eğitimin de olmaması sonucu uygulamada maden ve enerji yatırımlarını sürekli engellemiştir. Bu durum da sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde ülkemizin kalkınarak çevresini daha bilinçli ve nitelikli koruyamaması sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Bu tablonun devamı niteliğinde, son olarak Türkiye’de “Maden Atıkları Yönetmeliği” ile yapılmak istenen düzenlemeler de, çevreyi korumaktan ziyade madencilik faaliyetlerini yavaşlatma, geciktirme ve hatta yer yer imkansız hale getirerek madencilikte öngörülebilirliği ortadan kaldırma yönelimini göstermektedir.

Bilindiği üzere ülkemizde hemen hemen tüm alanlarda uygulanan/uygulanacak mevzuatlar oluşturulurken Avrupa Birliği Yönergeleri dikkate alınmaktadır.

Maden Atıkları Yönetmeliği’nin, AB Yönergelerinden yararlanılıyor denilerek ülkemiz madenciligi dikkate alınmadan çıkarılmış olması, yani birebir AB Yönergelerinin, hatta bu Yönergelerden daha kısıtlayıcı hükümlerin ilgili Yönetmeliklere konulmuş olması, Maden Atıkları Yönetmeliği’nin devreye girmesiyle bugünkü uygulamalardan daha da fazla sorunlar ortaya çıkaran bir tablo yaratmıştır.

Nitekim, bu direktiflere uygun olarak hazırlanmış olan 2008 tarihli AYGEİY, *maden atıklarını*, genel atık yönetmeliği kapsamı dışında bırakmışken, son olarak yürürlüğe giren Maden Atıkları Yönetmeliği neredeyse tüm maden atıklarının “*tehlikeli*

atık” olarak değerlendirilmesine yol açacaktır.

TAKY’de maden atıklarının özel atık olduğu belirtilmesine rağmen, yeni çıkarılan Maden Atıkları Yönetmeliği’nde TAKY hükümlerine göre değerlendirme yapılmaktadır. Buna karşın Maden Atıkları Yönetmeliği, sadece maden atıklarına yönelik olmalıdır. Maden Atıkları Yönetmeliği’nde; tehlikeli, tehlikesiz ve inert atık sınıflandırma ifadeleri yerine; madenlerin mineralojisi, içerdiği bileşikler ile hazırlama / zenginleştirme yöntemlerine göre isimlendirme yapılmalı ve buna uygun içerik belirlenmelidir.

Madencilik sektörünün çalışma ortamının diğer sanayi sektörlerinden farklılığı ve üretim miktarlarının büyüklüğü nedeni ile madencilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıklar dünyada “özel işleme tabii” atıklar olarak değerlendirilmektedir. Bunların yönetimi, ne tehlikeli atıklar yönetmeliğine ne de düzenli depolama yönetmeliklerine tabidir.

Maden atıklarının diğer atıklardan farklı olarak tanımlanması ve değerlendirilmesi gerekirken; Maden Atıkları Yönetmeliği’nin geneline bakıldığında; halen, maden atıklarının endüstriyel ve evsel atıklar gibi değerlendirilerek, bertarafı ve geri kazanımının düşünüldüğü görülmektedir. Halbuki dünya uygulamalarında *maden atıkları*, imalat sanayi atıklarının yönetimi ile ilgili mevzuat kapsamı dışında tutularak özel yasal düzenlemelerle yönetilmektedir.

Maden Atıkları Yönetmeliği’nde “atığın sınıfının belirlenmesi” yükümlülük kapsamına alınmıştır. Bu kapsamda kinetik ve statik test yapılma zorunluluğu getirilmiştir. Ancak bu testlerin yalnızca yurt dışında ve 6 aya varan bir zamanda yapılabiliniyor olması dikkate alınmamıştır.

Yine, ÇED kapsamında “atık yönetim planı” hazırlayan madenciler, yönetmelik hükümlerini yürütmekle yetkili Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’ndan “yeterlilik” onayı almak da zorundalar. Ancak; yetkilendirilen kurum ve kuruluşlar ile Bakanlığın merkez ve taşra teşkilatlarının madencilik faaliyetleri konusunda yeterli bilgi birikimine sahip olup olmadığı konusu sorun yaratacaktır. Ayrıca her bir maden işletmesi için, işletmelerde bulunan en az 3-4 atık depolama tesisinin her biri için izin/lisans istenmesi, maden işletmelerinin kaldıramayacakları idari, mali ve teknik yükümlülüklerdir.

Bir diğer önemli konuya, atık barajlarında “50 cm. kil ve üzerine jeomembran + drenaj kompozit

uygulaması”nın tehlikeli ve tehlikesiz maden atıkları ile –Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından gerek görülürse- inert atıklara dahi uygulanmakta olması ve bu uygulamaya yayımlanan yönetmelikle de devam edileceğidir.

Atıkların üniteye yerleştirilmesi için gereken jeomembran, jeotekstil ve jeokompost malzemelerin serme maliyetleri 3-4 Euro/m<sup>2</sup> gibi yüksek seviyelerdeyken, tehlike göstermeyen -kömür şlamlarında ve krom, feldspat atıklarında dahi- bu malzemelerin yerleştirilmesinin öngörülmesi, yani mevzuatla neredeyse maden işletmelerinin büyük çoğunluğu için zorunlu tutulmaya çalışılması anlaşılır değildir.

Üstelik Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından atık yönetiminde atık depolanması ve bertarafının asgari ölçüye indirgenmesi hedeflenmişken, aksine, mevcut mevzuatla *atıkların geri kazanımı* hedefine aykırı düzenlemeler göze çarpmaktadır. Nitekim şu an ekonomik olarak değerlendirilmesi mümkün olmayan bu atıkların yatırımcılar için ileride kârlı olabileceği göz ardı edilmekte, böylece bunların ekonomiye kazandırılmasının da tamamen önüne geçilmiş olmaktadır.

Yukarıdaki tüm durumlar göz önüne alındığında, maden atıkları mevzuatı hazırlanırken ve yönetilirken, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yerine, özellikle Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın söz sahibi olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak Maden Atıkları Yönetmeliğiyle AB’de dahi uygulanmayan yükümlülükler madenciden istenmektedir. Şu anki maden atık mevzuatı tablosunda, bu öngörülemez maliyet artışı ve bürokrasiyi arttıran bu düzenlemeler Türkiye’de zaten zor durumda olan madencilik bitirme noktasına getirebilir.

Bu itibarla, 15 Temmuzda maden atık mevzuatına yapılan bu hatalı mevzuat yenileme teşebbüsünün ortadan kaldırılması ve *maden atıklarının* ülkemize özgü bir anlayışla yönetilmesi adına gerekli düzenlemelerin yapılması zorunludur.

## KAYNAKLAR

- Arol, A., 2002. Madencilik Atıklarının Bertaraf Edilme Yöntemleri, Madencilikte Çevre Yönetimi Seminer Notları, TMMOB Maden Mühendisleri Odası.
- Çetiner, E. G., Ünver, B. ve Hindistan, M.A., 2006. Maden Atıkları İle İlgili Mevzuat: Avrupa Birliği ve Türkiye, Madencilik Dergisi, Cilt 45, Sayı 1, s.23-34.

- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011. Madencilik Sektöründe Atık Yönetimi Uygulamaları (23.12.2011 Sunum). T.C. Tekirdağ Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
- Erdemoğlu, M., 2016. Madencilikte Çevre Planlaması ve Madencilik Atıklarının Değerlendirilmesi Ders Notları, 243 s.
- Karapınar, N., 2011. Maden Atıklarının Sınıflandırılması, Atık Yönetimi Sempozyumu (16-21 Nisan 2011), Antalya.
- Karaca, E., 2012. Türkiye’de Maden Atıklarının Yönetimi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (Sunum)
- Madencilik Türkiye Dergisi, 2014. Maden Atıkları Yönetmeliği Taslağı Madencilerin Görüşüne Açıldı, Eylül 2014, Sayı 41, s.70-71.
- Sektörden Haberler Bülteni, 2011a. Sektörde Yaşananlar, Türkiye Madenciler Derneği (TMD) Sektörden Haberler Bülteni, Aralık 2011, Sayı 40, s.6-7.
- Sektörden Haberler Bülteni, 2011b. TMD Çevre Birimi Kuruldu. TMD Sektörden Haberler Bülteni, Aralık 2011, Sayı 40, s.12.
- Sektörden Haberler Bülteni, 2012. 3. Çevre Birimi Kurul Toplantısı, TMD Sektörden Haberler Bülteni, Eylül, 2012 sayı 43, s.18.
- Türkiye Madenciler Derneği (TMD), 2011. Avrupa Birliği’nde Madencilik, Çevre ve Kritik Hammaddeler. TMD, İstanbul, 170 s.
- TMD Çevre Birimi, 2011. Maden Atıklarının Mevzuat Açısından Yönetimi. TMD Sektörden Haberler Bülteni, Eylül 2011, Sayı 40, TMD, s.14-16.
- Yüce, A. E., 2012. Madenlerde Atık Uzaklaştırma Yöntemleri, Madencilikte Çevre Yönetimi Semineri (12-13 Ocak 2012), Afyonkarahisar, s.339-382.
- Zanbak, C., 2015a. Atık Mevzuatında Son İki Ay İçindeki Gelişmeler. TMD Sektörden Haberler Bülteni, Mayıs 2015, Sayı 56, s.73-75.
- Zanbak, C., 2015b. 15 Temmuz 2015 Tarihli Maden Atıkları Yönetmeliği Hakkında, TMD Sektörden Haberler Bülteni, Ağustos 2015, Sayı 57, s.10-13.
- Zanbak, C., 2015c. Maden Atıkları Yönetmeliği (15 temmuz 2015) 2001’den Günümüze Gelişmeler ve Yönetmelik İrdelemesi, TMD Sektörden Haberler Bülteni, Ekim 2015, Sayı 58, s.70-74.

# Ulusal ve Uluslararası Maden Hukukunun İlkeleri

## *Principles of National And International Mining Law*

Ö.Günay

*E.Maden Mühendisi, Avukat*

**ÖZET** Maden hukuku, madencilik faaliyetinde bulunanlarla, bu faaliyetlerden etkilenen kişiler ve devletin ihtiyacıdır. Bu düzenlemeler ise, ülkelerin sosyal ve ekonomik tercihlerine göre, değişiklik gösterebilir. Objektif bir sonuca varmak için, değişmez yada çok az değişiklik gösteren anayasa niteliğinde ki ilkelerin belirlenmesi gerekir. İlkelerin ise adil ve hakkaniyet içermesi gerekir.

Maden hukukunun ilkelerinin belirlenmesi, maden hukukundan doğan uyuşmazlıkların çözümüne yol göstereceği gibi, kanun yapıcılarında, kanun yaparken ki çerçevesini belirleyebilir.

İlkelerin belirlenmesinde, madencilik faaliyetini, diğer sanayi ve endüstriyel faaliyetlerden ayıran temel özellikler ortaya konmaya çalışılacak, bu farklılıkların hukuki karşılıkları tespit edilmeye çalışılacaktır.

**ABSTRACT** Mining law is the need for those who are engaged in mining activities, the people affected by these activities and the state. These arrangements may vary according to the social and economic preferences of the countries. To arrive at an objective conclusion, it is necessary to determine the constitutional principles which are invariable or vary slightly. The principles must be fair and equitable.

The designation of the principles of the mining law can lead to the settlement of the disputes arising from the mining law, as well as the legislator's frame of law. In defining the principles, the main characteristics that distinguish mining activity from other industrial activities will be tried to be determined, and also the legal provisions of these differences will be tried to be determined

## 1 KURALLAR NEDİR?

Günümüzün en popüler sporu, şüphesiz futboldur. Televizyonda ve günlük hayatta en çok konuşulan konulardan belki birincisidir. Gol, ofsayt, taç, köşe atışı gibi futbolun kuralları herkes tarafından bilinir. Ama en çok da hakemlerin kararları tartışılır. Bütün bu tartışmalara rağmen futbol kuralları yönetilir.

Madencilikte de açık ocak madenciliğinin veya yeraltı madenciliğinin veya cevher zenginleştirme işlemlerinin de kendine göre kuralları vardır. Maden Mühendisliği eğitiminde de aslında bu kurallar öğretilir.

Futbol ve madencilik gibi, hukukunda kurallarla yönetildiğini söyleyebiliriz. Hukuktaki kurallar Anayasa, Uluslararası Sözleşmeler, Kanun, KHK, Yönetmelikler olabilir.

Bunlardan başka, günlük hayatımızda ki davranışlarımızı düzenleyen kurallar: Örf ve adet kuralları, ahlak kuralları ve din kuralları v.b. olabilir. Tümünde de kurallar ait oldukları duruma göre normal ve anormali tarif eder.

Futbolda gol olması için kurallara göre topun kale içinde olması gerekir. Kurallara uygun değil ise gol olarak kabul edilmez. Açık ocakta şev açısı kurallara ve

standartlara göre ise “normal”dir, aksi takdirde “anormal “ olur. Maden hukukunda, sahip olduğunuz mermer ruhsatı ile sadece mermer üretebilirsiniz. Onun dışında bir maden üretimi anormaldir.

Sonuç olarak, kurallarla normal öğreniriz, anormal davranışlarda bulunmayız.

O halde kurallar nerden türetilmiştir?

## 2 İLKE VE KURAL AYRIMI

Hukuk kurallarının amacı, hukuki ilkelere ulaşmaktır.<sup>1</sup> İlkeler tek başına normal ve anormali belirtmezken, kurallar, ilkelere amacılı göreceli somut olaylara uygular. Kurallar ilkelere türetilmiş demek istemiyorum. Ancak kurallar ilkelere aykırı olmamalı demek istiyorum.

Cevher zenginleştirme de , “zenginleştirmek istenen cevherin serbestleşme tane boyutuna kadar öğütülmesi gerekir” önermesini bir ilke olarak kabul edelim. Bu durumda cevher zenginleştirme ile ilgili olarak üreteceğiniz her kuralda örneğin flotasyonla zenginleştirme yapacaksınız, flotasyona giren ürünün serbestleşme derecesine kadar öğütülmüş olmasını sağlamak zorunda kalırsınız ya da manyetik ayırıştırma yaparsanız benzer şekilde tane boyutunun serbestleşme tane boyutunda olmasını sağlamak zorundasınızdır.<sup>2</sup>

Hukukta da eşitlik ilkesine aykırı hukuk kuralı oluşturamazsınız, ya da hakimseniz eşitlik kuralına aykırı hüküm tesis edemezsiniz.

Maden hukukunda, madenler buldukları yerde üretilirler ilkesine aykırı olarak, maden işletmesini örnek olarak 100km ileriye taşı kuralı getirilemez.

O halde kurallar nerden türetilirler sorusuna vereceğimiz cevabı aramaya devam edelim.

## 3-POLİTİKA VE İLKE KAVRAMI

Toplumun, ekonomik, siyasi veya sosyal alanlarından birinde genel bir gelişme (gibi),erişilebilecek bir hedef ortaya koyan türden standartlara “politika” diyorum (ancak bazı hedefler, şu anki durumu elverişsiz bir değişimden korumaya yönelik olduklarından negatiftirler). Cazip görünen bir ekonomik, siyasi ya da sosyal durumu garanti edip ilerlettiği için değil, adalet, hakkaniyet ya da ahlakın başka bir boyutunun gerektirmesinden dolayı, uyulması gereken standartlara da “ilke” diyorum.<sup>3</sup>

Yukardaki tanımlar günümüzün en ünlü Liberal Hukuk Felsefesi yazarı Dworkin’e aittir.

Yukardaki tanımlara özgü örnek vermek gerekirse, iş kazalarında ki ölüm oranının düşürülmesi ile ilgili tedbirler bir politikadır. Kazalarda kusurlu olanları cezalandırmak bir ilke olabilir. Başka bir örnek ;” doğal servetlerin ve kaynakların, bu arada madenlerin, ekonomik kurallara dayalı "hız", "yön" ve "verimlilik" koşullarıyla, yararlanılabilir değerlere dönüştürülmesi ve ulusal gelire yeterince katkılarının sağlanmasıdır”<sup>4</sup> bu ifade bir politik bir metindir.

“ Madencilik sektörünü diğer sektörlerden ayıran bazı önemli özellikler vardır. Bu özelliklerin başında madenlerin tabiatta bulunan miktarlarının belli olması ve tükendikten sonra insan eliyle yeniden üretilememesi gelir.”<sup>5</sup> Bu da bir ilke olarak değerlendirilebilir.

Cazip görünen bir ekonomik, siyasi ya da sosyal durumu garanti edip ilerlettiği için, şu anda, politik olarak savunulan, madenlerin hızlı ve verimli bir şekilde çıkarılarak ekonomiye kazandırılmasıdır. Ancak bu politika, madencilik faaliyetlerinin ilkesi olabilir mi? Ölçümüz Dworkin’in adalet, hakkaniyet ya da ahlakın başka bir boyutunun gereksinmesidir. Bir başka ifade ile madenlerin hızlı ve verimli bir şekilde

<sup>3</sup> Dworkin,Ronald, Hakları Ciddiye Almak s:40

<sup>4</sup> A:(Esas Sayısı: 1993/8,Karar Sayısı: 1993/31)

<sup>5</sup> A: Esas Sayısı : 1985/20 Karar Sayısı : 1986/30

<sup>1</sup> Uygur,Gülriş, 2004

<sup>2</sup> Pozitif bilimlerde hipotezler laboratuvarında denenebilir ve herkes deneseydi aynı sonucu alacaktır varsayımı ile hareket ederken sosyal bilimlerde bu imkan çok kısıtlıdır.



ekonomiye kazandırılması adil midir? Hakkaniyet içerir mi? Ahlakın başka boyutta değerlendirmesini içerir mi? Adil olup olmaması açısından değerlendirdiğimizde, “madenler yenilenemeyen varlıklardır, bir kere kullanmakla tükenirler” ilkesi ile karşılaşırız. Böyle olunca, madenlerden beklenen faydanın tümünü, bizim şu anda yaşayanlar için kullanmamız, bizden sonra ki neslin madenleri bizim kadar kolay kazanamayacağını veya hiç faydalanamayacakları sonucu çıkar. Bizim ve bizden sonraki neslin, madencilikten beklenen faydadan adil bir şekilde yararlanamayacağı açıktır. Bizden sonraki neslinde haklarının olduğu madenlerin, onlara bırakılmadan tüketilmesi adil olmayacaktır. Bu nedenle “madenlerin hızlı ve verimli bir şekilde çıkarılarak ekonomiye kazandırılması” bir politika olmasına rağmen, bir ilke olarak kabulü mümkün değildir.

Bir başka tartışılması gereken politika “madencilik verimli bir şekilde” yapılmasıdır. Maden ruhsat sahibi açısından “verimlilik” en kısa zamanda, en çok kar eldesidir. Bu nedenle maden rezervinde ki en yüksek tenörlü cevheri, en kısa zamanda üretilip para çevirmek isterken, kalan düşük rezerv belki de bir daha hiç madencilik yapılamayacak kadar değersizleşecektir. Bu nedenle madencilikte verimlilik, maden rezervinin tümünden, tüm rezervi değerlendirerek madencilik yapılmasıdır. Kamu yararının verimlilik kavramı ile tacir madencinin verimlilik kavramı farklı olmaktadır. Bu nedenle verimlilikten hukuken anlaşılması gereken ve objektif sonuç ( tacir madencinin menfaati, kamu menfaatinden üstün değil ise) mümkün olan en fazla rezervin işletmeye alınması veya maden kaynağının bölünmemesidir. Adil ve hakkaniyet içeren sonuç budur. Böylece, verimlilik konusunda evrensel bir tanıma ulaşamadığımız için madencilik verimli bir şekilde, üretimi yukarıda anlatıldığı biçimiyle kabul edildiği sürece ilke olamaz.

Bu bölümün sonucu olarak, her politika, ilke olamaz, ilke olabilmesi için adil ve hakkaniyet içermesi gerekir. Adil ve hakkaniyet içeren politika, ilke olabilir.

#### 4. KURALLARI POLİTİKALAR ÜRETİR

Yukarıda kuralların, ilkeler tarafından üretilmediği açıklanmıştı. O halde kuralların politikalar tarafından üretilmediğini söyleyebilir miyiz?

Futbol dostluk ve kardeşlik için yapılmalıdır politikası olsaydı, herkes kabul edilebilir bir bilet fiyatı ile maçları izleyebilir, dev statlar yerine herkesi futbol oynayabileceği ufak ama çok sayıda stad yapılır idi. Dolayısı ile de buna göre futbol kuralları geliştirilir idi.

Ancak, futbol endüstriyel hale geldiği için, dev statlar, akıl almaz transfer ücretleri ve naklen yayınların bedelleri inanılmaz seviyelerdedir. Futbolda inanılmaz bir para piyasası oluşturduğu için, rekabetin artması ve dostluk, kardeşlik politikasından bahsedilmesini zorlaştırmaktadır. Futbolun endüstrileşmesi kendine özgü kuralları da doğurmuştur.

Madencilikle ilgili politikalarda benzerdir. Ulusal madencilik politikası savunuluyor ise

Ulusal madencilik firmalarının desteklenmesi için kurallar üretilmesini sağlar; aksi durum küreselleşen dünya da daha çok ithalat ağırlıklı kurallar ve yabancı sermayenin ülkeye çekilmesi gibi kuralların üretilmesi sonucunu doğurabilir.

Hukukta da benzer sonuçlara ulaşılabilir. Benimsenen hukuk sistemi ve politikaları, ait olduğu kuralların üretilmesini sağlar. O halde kurallar, politikalar tarafından üretiliyor ise bir politikamızın olmasını gerektirir.

Neden bir ulusal madencilik politikasına ihtiyacımız var?

Otta, yazılı bir “Ulusal Madencilik Politikası” oluşturmanın üç temel faydasına işaret etmektedir:

1) Politika metni, madencilik sektöründeki anahtar konulara ilişkin olarak, hükümetlerin pozisyonunu gösteren bir rehber görevi görecektir,

2) Devletin çeşitli kademelerindeki idarecilere ya da yasa hazırlayıcı veya yasa yapıcılarına yön verecektir ve,

3) Politika metninin hazırlanma sürecinde, en azından anahtar konuların ilgili taraflarca

tanımlanıp tartışılarak üzerlerinde belirli mutabakatların sağlanmış olması durumunda, yeni bir maden yasası oluşturulması ya da mevcut mevzuatta değişiklik yapılmasına ilişkin yapılacak çalışmalar da bir uzlaşma aracı olarak kullanılabilir.<sup>6</sup>

Bu görüşlere katılmakla birlikte, konuyu daha yakından incelediğimizde:

Politika veya siyaset ile ilgili tanımımızı” *Belli bir toplumda çatışma halinde olan düşüncelerin uzlaştırılması faaliyetidir. “ diye yaptığımızda, politika yapılabilmesi için toplumda çatışma halinde olan düşüncelerin var olması gerektiği sonucuna varabiliriz. Bunun için ise çatışma çıkarmaya gerek yoktur, çünkü farklı menfaat grupları, benimsedikleri menfaat doğrultusunda farklı düşünceler içinde zaten çatışırlar. Örneğin maden kanununun tanıyacağı ayrıcalıklar konusunda, devlet, madenci tacir, maden mühendisi, maden işçisi ve madenin çevresinde yaşayan insanlar veya bir çevreci örgüt farklı düşüncededirler. Madencilik politikası ise, farklı düşünce ile oluşan bu politikaları, kabul gören bir uzlaşıda birleştirmektedir. Doğal kaynaklar üzerinde, ulusal egemenliğin söz konusu olması için, ulusu meydana getiren farklı düşünceleri ve farklı menfaat gruplarının düşüncelerini içinde barındırması gerekir.*

Ancak Nejat Tamzok, Pring’e dayandırdığı görüşünde ““Pring’e göre; ulusların doğal kaynak üzerindeki egemenliklerini kısıtlayan belirli uluslararası gelişmeler söz konusudur. Bunlar arasında;

(1) Devletlerin, diğer devletlere karşı sınır ötesi çevresel zararları önleme sorumluluklarına ilişkin uluslararası çevre hukuku ilkesi,

(2) Özel anlaşma ya da sözleşmeler ve

(3)”Sürdürülebilir kalkınma” kavramı çerçevesinde geliştirilmekte olan ilkeler önemli bir yer tutmaktadır.” demektedir.

Burada da görüleceği üzere ulusların doğal kaynak üzerindeki egemenliklerini kısıtlayan ve ilk sırayı alan uluslar arası çevre hukuku ilkeleri olmaktadır.

Pring, “...henüz uluslararası bir maden kanununun geliştirilmemiş olmasına karşın, söz konusu faktörlerin uluslararası çevre yasasını şaşırtıcı bir hızda geliştirmekte olduğunu, günümüzde çevre odaklı 1.000’in üzerinde uluslararası anlaşma bulunduğunu” ifade ederek, bu anlaşma ve düzenlemelerin ulusal madencilik faaliyetleri üzerinde de önemli etkileri olacağına vurgu yapmaktadır<sup>7</sup>

Benzer görüş “Günümüzde dünya çapında bakıldığında, maden hukukunun bir örnek ve yalın bir yapısının olduğunu söylemek son derece güç. Ulusal maden yasaları bir yandan Dünya Bankası’nın ideolojik etkisinin altında ve güdümünde sektörün liberalleştirilmesine yarayacak ortak özellikler taşıırken, bir yandan da birbirlerinden köklü farklılıklar sergileyebilmekte. Üstelik madencilik çalışmaları yalnızca maden yasalarıyla yönlendirilmiyor. Başta, çevre hukuku olmak üzere özellikle doğal çevrenin ve doğal varlıkların korunması ve kullanımını düzenleyen çeşitli hukuksal kurallar da madencilik çalışmalarını etkiliyor.<sup>8</sup> şeklinde ileri sürülmektedir.

Anayasa Mahkemesinin ise konu ile ilgili olarak” Bu sektörde faaliyet gösteren bazı firmalar dünya çapında tekel durumuna gelmiş olup, stratejik önemdeki madenlerin arama ve işletme ruhsatlarını ele geçirdikleri gibi, dünya pazarlarında da üretim ve fiyat politikalarını diledikleri gibi düzenleyebilmektedirler. Bu dev monopollerin, özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin madencilik sektörü üzerinde doğrudan veya dolaylı, açık veya gizli, baskı ve kontrolleri vardır. Bu durum bütün ülkelerde kamuoyunun madencilik sektörü ile ilgili hukukî ve kurumsal düzenlemeler karşısında çok duyarlı olmasına neden olmuştur.”<sup>9</sup> Denilmektedir.

Sonuç olarak, bu dış etkilerin sınırlandırılabilmesi veya kontrol edilebilmesi için ya da madenlerin kamu yararına kullanılması, madencilik faaliyetinin sıfır kaza hedeflenerek yapılması, çevrenin korunabilmesi için bir ulusal madencilik politikasına ihtiyaç vardır.

<sup>7</sup> Nejat Tamzok,2016

<sup>8</sup> Tahir Ongun,2014

<sup>9</sup> Anayasa Mahkemesi,Esas Sayısı : 1985/20 Karar Sayısı : 1986/30

<sup>6</sup> Nejat Tamzok,2016

Madencilik politikasını oluşturabilmek için ise, madencilik faaliyetlerini diğer sanayi ve ticari faaliyetlerden ayıran temel özelliklerin bilinmesi gerektirebilir.

## 5 MADENCİLİK FAALİYETLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Konu ile ilgili olarak Anayasa Mahkemesinin görüşü şöyledir:

” Madencilik sektörünü diğer sektörlerden ayıran bazı önemli özellikler vardır. Bu özelliklerin başında madenlerin tabiatta bulunan miktarlarının belli olması ve tükendikten sonra insan eliyle yeniden üretilmemesi gelir. Madenlerin tükendikten sonra yeniden üretilmemesi ve bu nedenle de mevcut madeni işleten kişi veya kuruluşun bir 'tabii tekel' gücüne sahip olmasıdır.

Madencilik sektörünün bir diğer önemli özelliği; başta sanayi olmak üzere, diğer sektörlerin (tarım, hizmetler, ulaşım, enerji vb) faaliyetlerini sürdürebilmeleri için gerekli temel hammaddeleri üretmekte olmasıdır. Bir başka deyişle, ekonominin faaliyetini sürdürebilmesi, madencilik sektörünün sürekli ve verimli bir tarzda üretimde bulunmasına bağlıdır. Bu sektörde meydana gelecek bir üretim aksaması, ekonominin diğer bütün kesimlerini doğrudan veya dolaylı olarak etkiler.

Bu iki temel özelliği yanında madencilik sektörünün üzerinde durulan konu bakımından önemli diğer özelliklerine de kısaca göz atmak gereklidir. Bu özelliklerden biri, madencilik sektöründe kapital yoğun bir teknolojinin kullanılması ve kullanılan tekniklerin hızla demode olmasıdır. Bir başka özelliği de ne kadar bilimsel yöntemler kullanılırsa kullanılsın; rezervlerin miktarında ve kalitesinde daima bir yanılmanın söz konusu olabilmesidir. Üretimde mevcut olan bu risk, ürünlerin uluslararası pazarlanması yönünden de mevcuttur. Bu sektörde faaliyet gösteren bazı firmalar dünya çapında monopol durumuna gelmiş olup, stratejik önemdeki madenlerin arama ve işletme ruhsatlarını ele geçirdikleri gibi, dünya pazarlarında da üretim ve fiyat politikalarını diledikleri gibi düzenleyebilmektedirler. Bu dev

monopollerin, özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin madencilik sektörü üzerinde doğrudan veya dolaylı, açık veya gizli, baskı ve kontrolleri vardır. Bu durum bütün ülkelerde kamuoyunun madencilik sektörü ile ilgili hukukî ve kurumsal düzenlemeler karşısında çok duyarlı olmasına neden olmuştur.”<sup>10</sup>

Benzer konuda TBMM Madencilik Sektöründeki Sorunların Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştırması Komisyonu Raporu,(Mayıs 2010 ) da ki saptama ise şöyledir:

Her sektörün kendine has özellikleri olmakla birlikte; madencilik sektörünü, bütün diğer sektörlerden ayıran karakteristik özellikler vardır. Bunlardan biri TBMM Madencilik Sektöründeki Sorunların Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştırması Komisyonu Raporu’nda şu şekilde ifade edilmiştir:

“Madenler yenilenemeyen ham madde kaynaklarıdır ve yeryüzüne eşit dağılmamıştır.

Madenler genel olarak bulunduğu (oluştugu) yerde çıkarılmak zorundadır. Bu nedenle madencilikte ham madde çıkarılan ocak, stok sahası, zenginleştirme tesisi ve atık havuzu vb. yapıların, teknik ve ekonomik hususlar dikkate alınarak bir bütünlük içinde inşa edilmesi gerekmekte olup bu faaliyetler yapılırken, çevre kirliliğinin en aza indirilmesi de zorunluluk arz etmektedir. Başka bir deyişle madencilik yer seçme ve mevzuata uygun yer arama şansı az olan bir sektör olduğundan doğal kaynaklarımızdan sürdürülebilir kalkınma ilkeleri çerçevesinde, sürdürülebilir çevre özelliklerini dikkate alarak yararlanmamız gerekmektedir. Doğal kaynak olan madenler ve mineraller, insan refahı için bir taraftan ekonomiye kazandırılırken, diğer taraftan çevreye verilen tahribat ve zarar çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Faaliyetlerin yapıldığı

<sup>10</sup> Anayasa Mahkemesi, Esas Sayısı : 1985/20 Karar Sayısı : 1986/30

alanlarda ve özellikle açık işletme yöntemi ile çalışan sahalarda çalışmalar bittikten sonra topografya, jeolojik yapı, rölyef, su rejimi, iklim ve peyzaj tamamen değişmekte ve bitki örtüsü de harap olmaktadır.

Madenlerin ekonomiyeye kazandırılması, enerji ve sanayi ham madde talebinin ucuz ve güvenli olarak sağlanması ve işlenmiş mal ihracatının artırılması, madencilik sektörünün başlıca amacı olmakla birlikte, madencilik faaliyeti; yer altı kaynaklarının tükenmeye başlaması ancak buna ters orantılı olarak giderek artan talep ve tenörün düşük olması nedeniyle zenginleştirme yöntemlerinde kimyasal maddelerin kullanılmasına bağlı olarak çevre sorunları yaratan bir konu olarak ele alınmaktadır. Ayrıca madencilik faaliyetleri, alternatif yer seçimi şansı olmadığından diğer arazi kullanım biçimlerinden imar, endüstri alanları, tarım ve ormancılık ile karşı karşıya kalmaktadır.”<sup>11</sup>

TMMOB Maden Mühendisleri Odasının konu ile ilgili saptaması şöyledir:

- Üretildiğinde yerine konulamayan tükenen varlıklardır.
- Her aşaması çok risklidir.
- Yatırımın geri dönüş süreci uzundur.
- Yer seçim şansı yoktur, bulunduğu yerde işletilmesi zorunludur.
- İstihdam ve katma değer yaratan emek yoğun bir sektördür.
- Çevreye etkisi önlenemeyen veya kontrol edilebilen bir sektördür.
- Genellikle kırsal kesimlerde yapıldığından iç göçü önler.
- Madencilik yapılan bölgeler daha hızlı kalkınır.
- Ekonomik kalkınma için madenlerin planlı bir şekilde üretilmesi gereklidir.
- Krizlerden en çok etkilenen sektörlerden birisidir.
- Madencilik faaliyetleri durdurulduğunda yeniden

üretim alınması büyük maliyetlere neden olmaktadır.<sup>12</sup>

Yukarıda sayılan madencilik faaliyetinin özellikleri, kendi hukuk ilkelerini de belirler.

Bunların başlıcaları şöyledir.

## 6 MADEN HUKUKUNUN İLKELERİ

### 6.1 Madenler Buldukları Yerde Üretilirler:

Diğer sanayi ve ekonomik faaliyetlerde, faaliyetin icra edileceği yer konusunda farklı alternatifler rahatça bulunabildiği halde, madencilik madene bağlıdır, doğal kaynağın bulunduğu yerde yapılma mecburiyeti vardır. Bu özelliğin açıklanması konusunda Prof Dr Aydın Gülan ise “Maden tanımı ve niteliği gereği ender (sınırlı), gerekli bir maddedir ve ancak bulunduğu yerden çıkarılması mümkündür. Bu çıkarma galeri açmak veya üzerinden toprağı almak sureti ile olsun, sonuçta mutlaka madenin bulunduğu yerden toprak üzerine çıkarılması bir vakıadır. Belirtmek gerekir ki, aynı cins madende olsa başka bir yerde bulunan maden artık “farklı” bir kaynaktır. Dolayısıyla bulunmuş olan bir madenin ona duyulan ihtiyaca göre, değerlendirme mümkün olsa bile üretilecekse ancak bulunduğu yerde üretimi mümkündür.”<sup>13</sup>

Diğer ticari ve sanayi yatırımlarında üretim yeri konusunda farklı tercihler bulunabilirken, madencilik için bunu söylemek mümkün değildir. Bu nedenle madenlerin buldukları yer dışında üretilmesini düzenleyen bir kural üretilmemelidir.

### 6.2 Madenler Yenilenemeyen Kaynaklardır.

Madenler tükenen doğal kaynaktır. Üretilen madenin aynı hacminde aynı madenin tekrar bulunma ihtimali yoktur. Tüketildiğinde

<sup>11</sup> TBMM Madencilik Sektöründeki Sorunların Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştırması Komisyonu Raporu,(Mayıs 2010)

<sup>12</sup> (MMO, 2011)

<sup>13</sup> (Keskin s. 2015)

sonlanırlar. Yenilenme ihtimalleri yoktur. Bu nedenle, bizden sonra ki nesillerinde kullanıma bırakılması gerekir. Doğal kaynaklar yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynak olarak da sınıflandırılmaktadır. Rüzgâr, Jeotermal kaynaklar yenilenebilir kaynak iken, petrol ve maden yenilenemeyen kaynaklardır. Nitekim 5346 sayılı kanun yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'un 3 maddesinin 8 fıkrasında "Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK): Hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biokütle, biokütleden elde edilen gaz (çöp gazı dâhil), dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynaklarını, ... İfade eder." Şeklindeki düzenleme ile madenleri tanım dışında bırakmıştır. Bu nedenle de hukuken de madenlerin yenilenemeyen kaynak olduğu sonucuna varmak mümkündür. Nitekim doktrinde de aksi görüşte olana tesadüf edilmemektedir. "Madenler, diğer tabii servet ve kaynakların birçoklarından farklı olarak, yararlanılmakla tükenir niteliktedir"

<sup>14</sup> Ayrıca Anayasa Mahkemesinin kararında " Madencilik sektörünü diğer sektörlerden ayıran bazı önemli özellikler vardır. Bu özelliklerin başında madenlerin tabiatta bulunan miktarlarının belli olması ve tükendikten sonra insan eliyle yeniden üretilmemesi gelir."<sup>15</sup> Saptaması ile aynı görüş tekrarlanmaktadır.

Bu sonuç, kamu mallarından yararlanma usulleri konusunda ki, kamu mallarından yararlanırken onun aynına zarar vermeme, onu tüketmeme ilkesi ile çatışır. Madeni üretmek zorunluluğumuz nedeni ile yenilenebilir kaynaklardan daha özenli, daha dikkatli ve madenin kaybına neden olmayacak şekilde üretilmesi ilke edilebilir. Bunun sonuçları açısından incelediğimizde ise, madenin bizden sonra ki nesillerinde kullanımına bırakmak gerekir. Sürdürülebilir kalkınma ya da madencilik

özelinde sürdürülebilir madencilik açısından kaynağın kaybına neden olmayacak tedbirleri almak ve maden hukukunda bunu da sağlamak gerekecektir.

Anayasa Mahkemesi'nin "...Devletin arama ve işletmeyi süresinde gerçekleştirememesi sonucu özel teşebbüs de devreye girmektedir. Amaç, millî servetin işletilmesini ve millî gelirin artırılmasını bir an önce sağlamaktadır."

6309 sayılı Maden Yasası'nı yürürlükten kaldıran 3213 sayılı Maden Yasası'nın Türkiye Büyük Millet Meclisi'ne sunulan genel gerekçe bölümünde de, Anayasa'nın 168. maddesinin gerekçesine koşul olarak daha somut biçimdeki şu açıklamalara yer verilmiştir: "Madencilik, sürat ve ileri teknoloji isteyen, dış rekabet sistemine bağlı olarak çalışması gereken, yüksek sermaye ve kredi ihtiyacı ile geniş çevresi olan bir sektördür. Mevcut Kanunla Türkiye'nin maden potansiyeli atıl kalma durumuna kadar gerilemiştir. Arama ve işletme safhasında potansiyeli bilinen 40-50 bin maden sahasından bu gün için yaklaşık 5000 adedi faal durumdadır. Bu sebeplerle Kanunun uygulanmasında karşılaşılan güçlükler de dikkate alınarak, madencilik faaliyetlerine hız, yön ve verimlilik getirmek amaçlanmıştır."

İki gerekçede de belirginleşen temel amaç, kamusal ya da özel girişim ayırımı yapmaksızın, doğal servetlerin ve kaynakların, bu arada madenlerin, ekonomik kurallara dayalı "hız", "yön" ve "verimlilik" koşullarıyla, yararlanılabilir değerlere dönüştürülmesi ve ulusal gelire yeterince katkılarının sağlanmasıdır." Şeklinde ki (Esas Sayısı: 1993/8, Karar Sayısı: 1993/31) katılmak mümkün değildir.

Sonuç olarak, madenler yenilenemeyen kaynak oldukları için, madenler israf edilmeden üretilmelidir ve madenlerde bizden sonraki nesillerinde hakkı olduğu kabul edilmelidir.

Madencilik sürdürülebilir kalkınma hedefine uygun yapılmalıdır.

### 6.3 Madencilik Faaliyetinden Doğan Haklar Bölünemez

<sup>14</sup> (Gülen, 2008 s. 220)

<sup>15</sup> Esas Sayısı : 1985/20 Karar Sayısı : 1986/30

Hakların bölünmezliği, Roma hukukundan itibaren hukuka girmiş bir kavramdır. Güncel hukukumuzda “Bir şey, niteliğine ve kıymetine noksanlık gelmeksizin parçalara ayrılamıyorsa, bölünemeyen edim söz konusudur”<sup>16</sup> diye de tanımlanmaktadır. “Sosyo-ekonomik işlevi değişmeden ve ekonomik değerinde önemli bir azalma olmadan, eş nitelikte birden çok parçaya ayrılabilen mallar, bölünebilen mallardır. Diğerleri ise bölünemez mallardır. Burada söz konusu olan, malın sadece fiziksel bakımdan bölünebilirliği değildir. Çünkü fiziksel olarak her malın bölünmesi düşünülebilir. Önemli olan sosyo-ekonomik işlevin değişmesi ve ekonomik bakımdan değer kaybıdır. Örneğin at canlı olarak bölünemez bir maldır. Gerçi atın fizik olarak bölünebilmesi düşünülebilir. Ancak bölünme, atın değerini düşürmediği nadir durumlarda bile, sosyo-ekonomik işlevini değiştirir. Bu anlamda bir tablo tepsisi, bardak, ev, vb. bölünemez mallardır... Roma’da yazılı olarak saptanabilen en eski zamanlardan başlayarak, toprağın yataylaşmasına bölünebileceği, dikeyleşmesine bölünemeyeceği kural olarak kabul edilmekteydi. Çağımızda da hukuk öğretisinde bu kural genel olarak kabul edilmekle birlikte sosyo-ekonomik gereksinimler sonucu bir takım istisnaların ortaya çıktığı görülmektedir. ...Malların bölünebilir olup olmaması, eşya hukukunda ortak mülkiyetin ortadan kaldırılmasında önem taşımaktadır.”<sup>17</sup>

Benzer şekilde, bu kural maden hukukuna uygulandığında maden kaynağının mı yoksa maden ruhsatının mı bölünmezliği tartışmalıdır. Maden hakkı söz konusu edildiğinde, maden tüm kaynağı ile birlikte bir bütündür. Mühendislik açısından da madenin tümünün projelendirilmesi esastır. Maden yatağı bölünüp, bütünlüğü yok edecek şekilde projelendirildiğinde veya ruhsatlandığında kendisinden beklenen sosyal faydayı sağlayamadığı gibi, iş kazalarına da neden olabilir.

Ayrıca Maden kaynağının ruhsat alanları ile bölünmesi, bölünmezlik ilkesine aykırılık teşkil ettiğini düşünebiliriz. Maden bulunduğu veya görünür rezerv haline getirildiğinde maden ruhsat alanlarının bu kaynağı tam karşılayamaması veya maden kaynağının kapsadığı alanla, ruhsat alanlarının tam örtüşmediği durumlarda hakkın bölünmesi söz konusu olmaktadır. Maden yatağı veya cevherleşme doğal bir olaydır. Bu nedenle de koordinat sistemine göre belirlenmiş ruhsat alanları her zaman doğal olan, maden yatağını temsil etmeyebilir.

Doğal olana uymak, kanunun uygulanmasını kolaylaştırır. Bu nedenle bölünmezlik ilkesi, maden kaynağının ruhsat alanının maden kaynağı tümü ile uyuşması ve bölünmemesi gerektiği sonucunu doğurur. Bu nedenle bölünmezlik ilkesi, her maden kaynağının tek bir ruhsata bağlanması sonucunu doğurmalıdır. Madenin oluşması maden kaynağı varlığına bağlı ise, bölünmemesi gereken varlık maden kaynağıdır. Bir koyundan bir post çıkar. Özellikle işletme döneminde, bir kaynağı farklı ruhsatlara bölüp ihaleye çıkmak, madencilik açısından değil ancak ticari kaygıların sonucudur.

Maden haklarını (yetkilendirme açısından) arama, işletme ve buluculuk hakkı olarak tanımlamıştık. Sayılan bu haklar bölünemez, hisselerle ayrılamaz. Başka bir ifade ile bir arama hakkı iki kişiye  $\frac{1}{2}$  ve  $\frac{1}{2}$  şeklinde hisselerle bölünemez veya iki tüzel kişiliğe hisse şeklinde paylaştırılmaz. Ancak elde edilen gelirin paylaşılması, riskin bölüşülmesini içeren özel hukuka tabi sözleşmeler yapılabilir. Pratik karşılığı ise maden ruhsatları bir tek gerçek veya tüzel kişinin üzerine olabilir. Somut olarak bir ruhsatın üzerinde iki kişinin ismi yazılamaz.

Bizim hukukumuzda her ne kadar bölünmezlik yukarıda anlatıldığı şekilde anlaşılabilir ise de, bölünmezlik maden kaynağını da içermelidir. Bunu şu şekilde anlatmak faydalı olabilir. Maden hakları, madene yönelik bir hak ise, maden hakkının bölünmezliği de, maden kaynağından doğan hakkın bölünmemesi şeklinde anlaşılmalıdır. Özellikle arama ruhsatı ile bir

<sup>16</sup> (Uyar, 1990 s. 140)

<sup>17</sup> (Çelebicin, 2008 s. 47,48)

arama faaliyeti sonucu bulunmuş hale getirilen maden için, artık maden ruhsat alanı değil, o maden kaynağının tümü ile bölünememesini anlamak gerekir. Çünkü maden, ruhsat çizgilerine göre ya da yapay sınırlarla oluşan bir varlık değildir. Her madenin kendine özgü bir oluşum şekli ve karakteristiği vardır. Bu nedenle maden haklarının bölünmezliği denilince, her madene özgü olan bu karakteristik nedeni ile maden haklarının bölünememesi kaynağın doğurduğu hakkın bölünmemesi sonucunu doğurmalıdır.

Bu ilkenin doğurduğu sonuçlardan biri de, madencilik faaliyetlerinde rödovans sözleşmeleri konusunda açıklayıcı olacaktır. Bu konu ayrıca işleneceği için burada, sadece, maden haklarının bölünememesi ilkesinin, rödovans sözleşmelerine imkân tanımayacağı şeklinde yorumlanması sonucu doğuracaktır.

Sonuç olarak, maden ruhsatlarının alanlarla sınırlanması yerine, maden kaynağını içine alan bir hakkı savunmamız gerekir. Aynı kaynağın birden çok ruhsatla farklı kişilere hak tanınması, maden hakların bölünmezliği düşüncesine aykırıdır. Maden kanununun da yer alan koordinatlarla belirlenmiş ve sübjektif değerlendirmelerle tespit edilen alanlar yerine, her bir kaynağın tek başına değerlendirilmesi şeklinde düzenlenmesi ticari kaygılardan uzak, daha bilimsel ve doğal yapıya en uygun bir sistem olabilir.

Sonuç olarak, her maden kaynağı bir ruhsata; her ruhsat bir kaynağa karşılık gelmelidir.<sup>18</sup>

#### **6.4 Maden Hakları Tekel Niteliğindedir:**

Bu ilke, maden ruhsatı ile yetkilendirilen kişiye, aynı maden için, aynı alanda ve aynı süre içinde başka bir kişiye hak tanınmamasıdır. Ruhsat verilen alanda, ruhsatın sahip olduğu grup maden hakkı, başka bir kişi tarafından aynı maden ve için kullanılmaz. Ruhsat sahibi o alanla ilgi tek hak sahibidir. Maden haklarının kazandırdığı teşvik, irtifak, intifa tesisi, kamulaştırma ve haciz edilemezlik haklarını

da yalnızca ruhsat sahibi kullanabilir. Ruhsat sahibi, ruhsat süresince, ruhsatla kazandığı hak ile ilgili alanda tekeli hakka sahiptir. İkinci bir kişiye hak tanınmaz. Maden kanununda ki karşılığı olarak “Aynı grup ruhsatlar birbiri üzerine verilemez.” şeklindedir.

Doktrinde de “... Belirli bir safhada "tekel" i de kapsayan yani o evrede yalnız bir gerçek veya tüzelkişi arama yapabilecek ve bu arama sonucunda bir takım hukuki hükümler de doğacaktır”<sup>19</sup> ifadesi ile de tekel hakkının varlığı ifade edilmiştir.

Bu nedenle yapılacak kurallar tekel hakkını koruyacak nitelikte olmalıdır.

#### **6.5 Maden Hukukunda İstisnalar Temel Özelliğidir.**

Doktrinde konu ile ilgili ilke arayışı ile ilgili çalışma Doç Dr Aydın Gülan’a aittir. Bu konuda ki görüşü ise:

Maden hukuku mevzuatının istisnalarla dolu olması bir gereklilik olarak değerlendirilmelidir. Bu istisnalarda kasıt, genel, bütün maden türleri için geçerli düzenlemelerin isabetli olmayacağı gerçeğinden hareketle, özelliğinin gerektirdiği şekilde her bir maden türü için farklı düzenlemenin öngörülmesinin mümkün ve hatta gerekli bulunmasıdır.

Maden farklılıkları, onlara duyulan ihtiyaç ve niteliklerinin doğurduğu gereklilikler, genel hukuki statüler belirlendikten sonra, en azından istisnalara müsait bir yapı ile, ikinci denilen düzenlemelerde istisnalara yer vermeye müsait esnek bir yapı kurulmasını gerektirmektedir. Aksi takdirde birbiri ile kıymet, nadirlik, yatırım maliyeti ve hammadde özelliği farklı olan madenler için aynı hukuki alt yapının oluşturulmasının doğuracağı isabetsizlik ve tartışmalar gündemi kaplayacaktır. Her maden, her zaman aynı önemi ve önceliği gerektirmez. Özellikle kamu yararı çatışmalarından maden kavramının soyutluğu içinde yer alan her türlü madenin üstün kamu yararı sayabilmek bakımından

<sup>18</sup> Günay, Ö, 2016

<sup>19</sup> (Onar, II. C, 3. Bası)

aynı hukuki statüden yararlanması isabetli olmayacaktır.”

Şeklinde dir.

Tamamen katıldığımız bu görüşü desteklemek amacı ile güncel mevzuatta maden sınıflaması 5 ana grupta yapıldıktan başka, 9 da alt grupta sınıflandırılmak istenmişse de bu bile yeterli gelmemiş, Bor ve Uranyum’la ilgili farklı düzenlemeler yapılmıştır. Ayrıca Ereğli Kömür havzası ile ilgili farklı düzenlemelerin yanında Kaynak Tuzları ile ilgili istisna hükümleri yer almaktadır.

Bu nedenlerle maden hukukunda içeren düzenlemeler temel olarak istisna hükümlerini de içerir ve bu durum maden hukukunun diğer bir ilkesi olmalıdır.

Ayrıca, her maden projesi bir diğerinin aynısı değildir. Örneğin maden kanununda sadece altın olarak sınıflandırılan madenin işletilmesi için çok farklı işletme yöntemleri kullanılabilir. Açık ocak yapılabilirdiği gibi, yeraltı yapılabilir. Plaser yataksa farklı, magmatik kökenli ise farklı işletme yöntemleri seçilebilir. Bu nedenle her cevherleşmenin kendine özgü koşullarının olması bir teknik gerekliliktir. Bu nedenle, her bir proje kendine özgüdür. Bu durum ise kuraldan çok istisna düzenlemeleri zorunlu kılar.

Ayrıca bu nedenle de madencilik faaliyetlerinde, istisnalar temel kuraldır.

## 7. SONUÇ

Madencilikte ki bilimsel ve teknik gelişmeler, madencilik faaliyetlerini büyüttü ve çeşitlendirdi. Bu artış beraberinde çevre ve insanla olan sorunları da artırdı. Özellikle çevre haklarında ki gelişmeler, madencilik için yeni bir anlayışla yapılmasını gerekli kıldı.

Bu bilgiler ışığında, ulusal ve uluslararası madencilik, adil ve hakkaniyet içeren ilkelerinin belirlenmesi konusunda ki bu başlangıç çalışmasının, ilgililere ışık olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Çelebican, Özcan Karadeniz. 2008. *Roma Eşya Hukuku*, . s.l. : Yetkin Yayınevi, 2008.
- Gül, İbrahim. 2014. 2014, Ankara Barosu. *Danıştay Kararlarında "Kamu Yararı" Kavramı*.
8. Beş yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İstihdam Raporu. [Çevrimiçi] 2000. [http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/e5ac40b5a02c5a2\\_ek.pdf?tipi=5&turu=R&sube=0](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/e5ac40b5a02c5a2_ek.pdf?tipi=5&turu=R&sube=0).
- Dworkin, Ronald. 2007. *Hakları Ciddiye Almak*. s.l. : Dost, 2007.
- Göğer, Erdoğan. 1979. *Maden Hukuku*. Ankara : Ankara Üniversitesi No:441, 1979.
- Gülan, Aydın. 2008. *Maden İdare Hukukumuzun Ana İlkeleri ve Temel Müesseseleri*. s.l. : Lamure, 2008.
- Günay, Ömer, 2016. *Maden Hukuku*, Seçkin Yayınevi
- Güriz, Adnan. 2006. *Hukuk Başlangıcı*. Ankara : Siyasal, 2006.
- Kübalı, Hüseyin Nail. 1942. *Eski Mevzuatımız ve Maden Mülkiyeti*. s.l. : Maarif Vekaleti Derleme Müdürlüğü, 1942.
2003. Maden Kanununun Eleştirisi. *Jeoloji Mühendisleri Odası*. 2003
- Madencilik Sektörü ve Politikaları Raporu*. Ankara : TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2011.
- Mühendisleri, Jeoloji. 2003. *Maden Kanununun Eleştirisi*. 2003.
- Odası, MMMO TMMOB Maden Mühendisleri. 2011. *Madencilik Sektörü ve Politikaları Raporu*. s.l. : TMMOB, 2011.
- Oğuzman, Kemal, Seliçi, Özer ve Oktay, Saibe. 2011. *Eşya Hukuku*. s.l. : Filiz, 2011.
- Pring, George W. (Rock). 1999. *"International Law and Mineral Resources ", Mining, Environment and Development*. 1999.
- TBMM. 2011. *Madencilik Sektöründeki Sorunların Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştırması Komisyonu Raporu*, 2011.
- Öngür, T., Küreselleşen Maden Hukuku <http://www.shazinem.net/maden-muhendisligi/50673-kuresellesen-maden-hukuku-tahir-ongur.html>
- 19.01.2017 de alıntı yapıldı
- Tamzok. N, Maden Hukuku ve Politikası, [https://www.academia.edu/4761432/Madencilik\\_Tamzok.N\\_Politikas%C4%B1\\_ve\\_Maden\\_Hukuku](https://www.academia.edu/4761432/Madencilik_Tamzok.N_Politikas%C4%B1_ve_Maden_Hukuku)
- 19.01.2017 tarihinde alıntı yapıldı



# Madencilik Sektöründe Yetkin Kişi ve Türkiye’de Yetkilendirilmiş Tüzel Kişiler

## *Competent Person in Mining Industry and Authorized Legal Persons in Turkey*

Ş. Şafak

*Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara*

**ÖZET** Madencilik sektöründe yazılan yetkin kişi raporları uluslararası kodlarda belirlenen saydamlık ilkesi çerçevesinde mineral kaynağının tahmini veya değerlendirilmesi, ya da maden rezervinin ekonomik olarak işletilmesi ve değerlendirilmesini içerir. Sektördeki yatırımcılar ve maden şirketleri ile bankalar ve finansman kuruluşları için yatırımın yapılabilmesi için hayati öneme sahip olan raporların; saydam, doğru ve uzmanlığa dayalı olması çok önemlidir. Yetkin kişinin topluma karşı sorumluluk, çalışmalarında dürüstlük, mesleğinin onur ve saygınlığını koruma, çevreyi ve halkın sağlığı ile refahını olumsuz etkilememe gibi uyması beklenen mesleki davranış ilkelerine sahip olması gerekir. Ülkemizde, 18 Şubat 2015 Tarih ve 29271 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren 6592 sayılı Maden Kanunu ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun ile “Yetkilendirilmiş Tüzel Kişiler” tanımı getirilerek madencilik sektöründe yeni bir dönem açılmış, ve mineral kaynak ve maden rezervlerimizin uluslararası standartlarda raporlanması amaçlanmıştır.

Bildiride; madencilik sektöründe dünyada yer alan yetkin kişi ve ülkemizde yeni oluşturulan yetkin tüzel kişiler kavramları detaylı açıklanarak, ülkemizde bu konudaki gelişmeler tartışılacaktır.

**ABSTRACT** Competent Person Reports for mining sector includes estimation and assessment of a mineral resource or economic extraction and evaluation of a mineral reserve, under the framework of clarity principle determined for the international codes. It is very vital that these reports are plain, accurate and based on an expertise, for the investors, companies, banks and financial institutions who are interested in investing. A competent person is expected to have professional acting principles such as public responsibility, honest work, maintaining honour and esteem for the profession, defending environmental and public health and prosperity. When the definition of “Authorized Legal Persons” was introduced in the Law Amending to Mining Law No. 6592, which was published in Official Gazette No. 29271 on 18<sup>th</sup> February 2015 and entered into force, a new era has started for Turkey’s mining sector, and thus it is aimed that the reports which are related to mineral resources and reserves to be submitted in the international standards. In this paper; the terms of competent persons of the mining sector (worldwide) and a newly-formed authorized legal person notion of Turkey are explained in detail and the developments on this issue will be discussed.

In this paper; the terms of worldwide known competent person and a newly-formed authorized legal persons are explained in detail in mining sector of Turkey, and the developments on this issue will be discussed in Turkey.

## 1 DÜNYA'DA YETKİN KİŞİ

### 1.1 Mineral Kaynak ve Maden Rezerv Raporlama Standartları

Maden yataklarının kaynak ve rezervleri ile kalitesinin belirlenmesi için, maden yatağı hakkında yeterli bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir. Diğer bir deyişle, kaynak ve rezervler bu bilgilerin nitelik ve niceliklerinin yeterliliği ölçüsünde belirlenmekte ve sınıflandırılmaktadır.

Dünyada halen farklı isim ve tanımlamalarla çok sayıda rezerv ve kaynak sınıflandırmaları kullanılmaktadır. Uluslararası ticaretin ve madencilik yatırımlarının artması sebebiyle uluslararası kabul edilebilir bir rezerv/kaynak sınıflandırma sistemi oluşturma ihtiyacı doğmuştur.

Cevher rezervi raporlamada terminoloji, tanım ve sınıflandırmaya yönelik standartlar ilk kez Avustralya'da 1989 yılında bir yönetmeliğe bağlanmıştır. JORC Code adıyla anılan bu yönetmelik zamanla geliştirilmiş ve diğer ülkelere de örnek olmuştur (JORC: Joint Ore Reserves Committee of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists, and Minerals Council of Australia.). 1994 yılında ABD, Avustralya, Birleşik Krallık, Güney Afrika ve Kanada standartlarını uyumlaştırma çalışmalarına başlamıştır.

CRIRSCO (Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards) kaynak/rezerv uluslararası raporlama standartlarını uyumlaştıran bir komitedir. Ülkelerin ya da ülke gruplarının mineral raporlama standartlarını üreten ve bunun yönetiminden sorumlu olan Ulusal Raporlama Kurulları temsilcilerinden oluşur. Halen ABD (SME), Avustralya (JORC), Birleşik Krallık (Ulusal Kurul) ve Pan Avrupa (PERC = Pan European Reserves and Resources Reporting Committee, Güney Afrika (SAMREC = South Africa Mineral deneyimlerini yaygınlaştırmak amacıyla,

raporlama yönetmeliklerini esas alan Resource Committe), Kanada (CIM) ile Şili (Ulusal Kurul) CRIRSCO'da temsil edilmektedir. Bu ülkelerin bir Uluslararası Raporlama Kalıbı/ Şablonu (Template) geliştirmiştir. Başta Rusya ve Çin olmak üzere diğer bazı ülkeler de ulusal standartlarını CRIRSCO kalıbı ile uyumlaştırma çalışmalarını sürdürmektedir.

### 1.2 Kaynak ve Rezerv Raporlamada Yetkin Kişi

Yetkin Kişi, madencilik sektöründe, aralarında bir üyeyi askıda tutma veya çıkarma yetkilerinin bulunduğu yürürlüğe konabilen disiplin süreçlerine sahip bilinen bir mesleki birliğin tüzel üyesi olup, kayıtlı veya belge sahibi profesyonel kişidir.

Yetkin kişi, yetkinlik, şeffaflık ve doğruluk gibi kavramları en üst düzeyde taşımalıdır. Eğer bu kavramlardan herhangi birinde aksama olursa, örneğin yanıltıcı maddi hata olduğuna kanaat getirilirse on iki ay meslekten men cezası ya da para cezası yada iki cezanın birden uygulanması gibi bazı yükümlülükler gelebilmektedir (Livesly).

Yetkin Kişi, üstlendiği etkinlikte ve üzerinde çalıştığı yatak tipi veya cevherleşme tarzında en az beş yıl bilfiil çalışmış ve çalışılan cevher ile ilgili tecrübe sahibi olmalıdır. Örneğin, yetkin kişi arama sonuçları raporu hazırlıyor ise arama ile ilgili deneyimi, mineral kaynakları tahmini veya bu konuda danışmanlık yapıyor ise mineral kaynaklarının değerlendirilmesi ve hesaplanmaları ile ilgili deneyimi, maden rezervi tahmini ya da bu konuda danışmanlık yapıyor ise maden rezervinin değerlendirilmesi ve işletilmesi ile ilgili deneyime sahip olmalıdır. (Pan European Standard for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Reserves).

Yetkin kişinin Avrupa'da veya dünyanın diğer ülkelerinde dünyaca bilinen onaylanmış profesyonel organizasyonlara (RPO = Recognised Professional Organizations) üye olması gerekmektedir. Bununla birlikte standart altında kabul

edilebilen ancak yetkin kişi olma gereksinimlerini kabul edebilen mesleki birlikler ile üyelik sınıfları zaman zaman güncellenmiş listelerde yer almaktadır. Kabul edilen mesleklerde sınıflandırmalara örnekler; profesyonel, mühendis, profesyonel jeolog/mühendis, sertifikalandırılmış profesyonel jeolog/mühendis, profesyonel jeofizikçi vb. şeklinde sıralanabilir. (<http://www.asx.com.au/documents/regulation/list-recognised-professional-orgs-march-2014.pdf>)

Yetkin Kişi tanımına, borsa veya düzenleyici otoritenin gereksinim duyabildiği herhangi bir ek kısıtlama veya koşullar getirilebilir.

Yetkin Kişinin Raporu, kamuya açık rapor olabilir veya olmayabilir. Raporunda yer alan bilgiler, ön-fizibilite çalışmaları, fizibilite çalışmaları, yıllık şirket raporları, basın açıklamaları ve web siteleri gibi başka raporlarda da bulunabilir.

Bir şirketin arama sonuçları, mineral kaynakları ve/veya maden rezervleri ile ilgili bir rapor, yönetim kurulu yoluyla hareket eden şirketin sorumluluğudur. Bu türde oluşturulan herhangi bir rapor, yetkin kişi veya kişiler tarafından hazırlanmış olan belgelemeye dayandırılmalı ve açık biçimde belgelemeyi yansıtmalıdır.

Arama sonuçları veya mineral kaynak tahminlerinin derlenmesi için sorumluluk alan yetkin kişinin, verilerin güvenilirliğini etkileyebilen sorunların farkında olarak, üzerinde düşündüğü yatak ile ilgili olarak yapacağı örnekleme ve analitik yöntemlerde uygun deneyime sahip olması gereklidir. O yatak tipine uygulanabilen işletme ve proses yöntemlerinin uygun değerlendirmesi de önemli olabilir.

Yetkin Kişiler olarak istenen kişilerin, diğer yetkin kişilerle yüzleştğinde ve yüklendiği durum, cevherin yatak tipi ve emtiasında yetkinliğini gösterecek şekilde zihinlerde açık biçimde tatmin edici olması gereklidir. Yetkin kişi bu hususta herhangi bir şüphe duyması halinde, ya uygun biçimde deneyimli meslektaşlarından görüşler aramalı veya yetkin kişi olarak hareket etmeyi kabul etmemelidir.

Mineral kaynaklarının tahmini, çeşitli meslek gruplarından meydana gelen ekip tarafından oluşturulabilir (örneğin, bir kişi ya da ekip verileri toplarken bir başka kişi veya ekip kaynak tahminini hazırlar). Maden rezervlerinin tahmin edilmesi, birkaç teknik disiplinin işin içine katıldığı bir ekip çalışmasıdır.

Bir grubun içinde uzmanlık isteyen belirgin bir ayrımın bulunduğu yer(ler)de her bir yetkin kişi ile onun katkısının belirtilmesinin gerekli olduğu ve o özel katkı için kabul edilmiş sorumluluğun olduğu tavsiye edilmektedir. Eğer sadece bir yetkin kişi mineral kaynağı veya maden rezervi belgesini imzalarsa, standartlar altında belgenin tümünden o kişi sorumludur ve hesap verebilir durumda olması gerekir. Bu durumda; bir mineral kaynak veya maden Rezervi tahmininde tüm sorumluluğu kabul eden ve tümüyle veya kısmen diğerleriyle birlikte hazırlanmış belgeyi destekleyen Yetkin Kişinin, diğer katkıda bulunanların çalışmasının kabul edilebilir olduğundan emin ve tatmin olması önemlidir.

Özellikle, yetkin kişinin kaynak ve rezerv tahminleri üretiminden tümüyle sorumlu olmadığı takdirde, verilerin kişisel doğrulamaları ve saha incelemelerini içeren bütün kaynak tahmin etme işinin tamamını bütünüyle anladığından emin olacak şekilde adımlar atması zorunludur. Bu nedenle yetkin kişi diğerlerinin sözüne tam olarak güvenmemelidir.

## 2 TÜRKİYE'DE MADENCİLİK SEKTÖRÜNDE YETKİNLİK

### 2.1 Yetkilendirilmiş Tüzel Kişiler

6592 sayılı "3213 Sayılı Maden Kanunu ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" 18 Şubat 2015 tarihi itibarıyla Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu değişiklikle birlikte madencilik sektöründe ilk defa "Yetkilendirilmiş Tüzel Kişiler" (YTK) kavramı ortaya çıkmıştır. Yayınlanan kanunda; yetkilendirilmiş tüzel kişiler, "Maden İşleri Genel Müdürlüğüne (MİGEM) yetkilendirilen, bu kanun kapsamında MİGEM'e verilmesi gereken

rapor, proje ve her türlü teknik belgeyi hazırlamaya yetkili, şirket hisselerinin yarısından fazlasının sahibinin mühendis olduğu ya da bünyesinde nitelik ve nicelikleri yönetmelikle belirlenen mühendisler çalıştıran maden arama ruhsat sahibi veya işletmesi olan tüzel kişiler” şeklinde tanımlanmıştır.

Kanun kapsamında tanımlanan işlemleri yapmak üzere kurulan yetkilendirilmiş tüzel kişiler veya maden arama ya da işletmecileri, MİGEM’den yetki belgesi almakla yükümlüdür. Yetkilendirilmiş tüzel kişiler ile maden arama ya da işletmecilerine yetki belgesinin verilmesi, denetimi, uyarılması, yetki belgelerinin askıya alınması ve belgenin iptal edilmesi ile ilgili usul ve esaslar ise 03.06.2016 tarih ve 29731 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan “YTK ile İlgili Yönetmelik” ile düzenlenmiştir.

Yönetmelik; tüzel kişiler veya maden arama ve işletmecilerinin Genel Müdürlükçe yetkilendirilmiş tüzel kişi olarak yetkilendirilmesi, denetimi, uyarılması, yetki belgelerinin askıya alınması süresinin uzatılması ve iptal edilmesi ve bu tüzel kişiliklerce hazırlanan rapor, proje ve her türlü teknik belgenin, MİGEM’e verilmesi ve YTK’larda çalıştırılacakların nitelikleri ile ilgili hususları kapsamaktadır.

01 Ocak 2017 tarihinden geçerli olmak üzere MİGEM’e verilecek olan bütün teknik belgelerin YTK tarafından düzenlenmesi gerekmektedir.

YTK’ların oluşturulmasıyla MİGEM’e verilecek teknik belgelerin niteliklerinin arttırılması ve sektörde daha güvenilir proje ve uygulamaların yapılması hedeflenmektedir. Özellikle yeraltı işletme projelerinin en az beş yıl yeraltı deneyimine sahip teknik kişiler tarafından verilmesi ve bu projelerin izlenerek sürekli güncellenmesi sektörümüzde yapılması şart olan dönüşümün başlangıcı olarak düşünülebilir.

Bu bağlamda; ne yazık ki dünyada yaklaşık otuz yıl önce başlayan yetkin kişi kavramının ülkemize YTK’lar aracılığıyla girmesi, sektördeki yetkin kişi sayısının azlığından dolayı oluşan boşluğu doldurma anlamında oldukça önemli olup, bu dönemin madencilik

sektörü için yetkin kişi kavramına geçiş dönemi olarak düşünülmesi gerektiği açıktır. MİGEM’e verilecek arama faaliyet raporu ve aramalarla ilgili her türlü teknik belge jeoloji mühendisi sorumluluğunda, işletme faaliyet raporu veya işletme projeleri ise maden mühendisi sorumluluğunda hazırlanacaktır. Bu aşamada cevher veya yatak tipine göre her ne kadar uzmanlaşma hususu detaylandırılmamış olsa da, projede uzmanlık isteyen diğer meslek disiplinlerinin projede yer alan ilgili bölümlerde imzası aranacaktır.

MİGEM’e verilecek teknik belgelerin niteliğinde göreceli bir iyileşme sağlanacağı açıktır. Bu gelişmeler her ne kadar geçiş dönemi gibi düşünülse de, 07.09.2016 tarih ve 29824 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan 6745 sayılı “Yatırımların Proje Bazında Desteklenmesi ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun’un 38 maddesiyle, 3213 sayılı Maden Kanunu’na Ek 14. Maddenin eklenmesiyle kısa adı UMREK olan “Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu’nun oluşturulmasıyla, artık ülkemizde uluslararası kaynak ve rezerv raporlama ile ilgili somut adımlar atılmıştır.

## 2.2 Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama

UMREK, uluslararası standartlar ile bilimsel ve teknik esaslara göre yetkin kişi ve/veya yetkilendirilmiş tüzel kişiler tarafından, madenlerin aranması, araştırılması ve üretilmesi ile ilgili açık, güvenilir, uygulanabilir kaynak ve rezerv bilgilerini oluşturmak, bunlarla ilgili raporlama standartları ve kriterler belirlemek, sistem kurmak, uygulamak, geliştirmek ve yayımlamak, bu faaliyetler ile ilgili strateji ve hedefler oluşturmak, yetkin kişi ve/veya yetkilendirilmiş tüzel kişilerde aranan nitelikleri belirlemek, bunlara eğitim vermek, sertifikalandırmak, sicil ve sicil kayıtlarını tutmak, denetlemek, ihtar vermek, belgeleri askıya almak veya iptal etmek, uluslararası benzeri kuruluşlara üye olmak veya bunlarla işbirliği yapmak, görev alanına giren

konularda eğitim, araştırma ve yayın faaliyetlerinde bulunmak ve bu faaliyetler ile ilgili düzenlemeleri yapmak ve yayımlamak amacıyla kurulmuştur.

Bu kapsamda henüz sadece kanunla kurulmuş olan UMREK'in işleyiş ve görev tanımlarının belirleneceği yönetmelikte kurumsal bir yapının oluşturularak, madencilik sektöründe yeniden bir yapılanmanın sağlanması ve kaynak/rezervlerimizin daha etkin değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

## SONUÇ

Dünyada madencilik sektörü için hayati önem taşıyan kaynak/rezerv raporlama sisteminin en önemli unsurlarından biri olan yetkin kişi kavramı, ülkemizde yetkilendirilmiş tüzel kişiler kavramı ile ülkemiz madencilik sektörüne girmiştir.

Ülkemizde arama, kaynak ve rezervlere ilişkin bilgilerin güvenilir ve uluslararası standartlara uygun olmayışı; madencilik sektörüne dışarıdan bakıldığında, güven vermeyen, yatırım yapmak için karar verme sürecini uzatan ve buna paralel olarak finansman bulma konusunda sorun yaşayan bir sektör olma sürecini yaşatmaktadır.

Bu sayede, Ülkemizde yetkin kişi sayısının azlığı ve maden ruhsat sayısının on binlerle ifade edildiği dikkate alındığında; kurulan yetkilendirilmiş tüzel kişilerin bu geçiş döneminde son derece önemli bir yere sahip oldukları açıktır. Ancak bu yapının kendini sürekli güncellemesinin dinamik şekilde sağlanması amacıyla gerekli tedbirlerin alınması oldukça önemlidir.

YTK'ların oluşturulmasıyla MİGEM'e verilecek teknik belgelerin niteliklerinin arttırılması ve sektörde daha güvenilir proje ve uygulamaların yapılması en büyük hedeflerden biridir.

UMREK sayesinde; ülkemizdeki kaynak/rezervlerin uluslararası standartlarda raporlanması ve böylece kaynak/rezervlerimizin ekonomiye katkısının sağlanması ve dolayısıyla yerli ve yabancı yatırımcının ülkemiz kaynak/rezerv değerlerine güven duyması, kredi

kuruluşlarının güvenilir kaynak/rezerv değerlerini görmesinin yolu açılacaktır.

Ülkemiz kaynak ve rezervlerinin bilimsel olarak belirlenmesi sonucunda, daha güvenilir şekilde dünyada kabul görmesi sonucunda, finansman sorununu aşarak, ülke kaynaklarının daha verimli işletileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

-6592 Sayılı Değişik Maden Kanunu, Resmi Gazete, 18 Şubat 2015, sayı 29271, Ankara.

-<http://www.asx.com.au/documents/regulation/list-recognised-professional-orgs-march-2014.pdf>

-[http://www.jorc.org/Kazakhstan Code for the Public Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves, Kazakhstanian Association for Public Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves, June 2016.](http://www.jorc.org/Kazakhstan%20Code%20for%20the%20Public%20Reporting%20of%20Exploration%20Results,%20Mineral%20Resources%20and%20Mineral%20Reserves,%20Kazakhstanian%20Association%20for%20Public%20Reporting%20of%20Exploration%20Results,%20Mineral%20Resources%20and%20Mineral%20Reserves,%20June%202016)

-Kym Livesley, Bulletin General Article, "Liability of Competent Person for JORC reports", Partner Corporate Advisory M&A, Gadens Lawyers, p.56-64 January/Februaray 2008 Sydney.

-Pan European Standard for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Reserves, The Pan-European Reserves and Resources Reporting Committee, Brussels, 2016.

-Yatırımların Proje Bazında Desteklenmesi ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnemelerde Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun (6745), Resmi Gazete 07 Eylül 2016, Sayı 29824, Ankara.

-Yetkilendirilmiş Tüzel Kişiler Yönetmeliği, Resmi Gazete 03 Haziran 2016, Sayı 29731, Ankara.

# İmbat Madencilik Soma – Eynez İşletmesinde Yeraltı ve Yerüstü Kaynaklı Su Baskını Tehlikelerinin Değerlendirilmesi

## *Evaluation of the dangers of water flooding from underground and surface sources at Soma-Eynez Mine of Imbat Mining*

N. A. Akçın, V. Didari

*Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

G. Büyükyıldız, A. Ekici

*İMBAT Madencilik, Soma/Manisa*

T. Ünlü

*Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

H. Akçın

*Bülent Ecevit Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

**ÖZET** Bu çalışmada; İmbat Madencilik Eynez yeraltı işletmesine yerüstü ve yeraltı kaynaklarından oluşabilecek su baskını tehlikeleri araştırılmıştır. Öncelikle; bir yeraltı ocağında su geliri ve su baskınlarının yarattığı sorunlar ele alınmıştır. İkinci olarak; su geliri ve su baskını kaynakları irdelenmiş ve bu tehlikelere karşı alınabilecek önlemlere değinilmiştir. Üçüncü olarak, Eynez yeraltı ocağındaki su atımı yönetim sistemi incelenmiş ve kritik noktalar belirlenmiştir. Son olarak da; yeraltı ocağına gelebilecek suyun kaynakları, su gelirine ve su baskınına etki edebilecek işletme koşulları (üretim yöntemi, tasman oluşumu vb) değerlendirilerek Atık Su Yönetimi ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

**ABSTRACT** In this study, the dangers of water flooding due to surface and underground water sources at Eynez underground mine of Imbat Mining are investigated. Firstly, the problems created by water inflow and flooding in an underground mine are discussed. Secondly, the source of water inflow and flooding are addressed, and the measures that can be taken against such dangers are mentioned. Thirdly, the management of water drainage system at Eynez underground mine is studied and its critical points are determined. Finally; the possible sources of water that can be encountered in the mine and the mining conditions (mining method, subsidence, ect.) that can affect the water inflow and flooding are evaluated, and recommendations are given for the management of water drainage system.

### **1 MADENLERDE SU ATIMI VE SU BASKINI SORUNU**

Bir yeraltı maden işletmesine su çok farklı kaynaklardan gelebilir. Ayrıca, bu kaynaklardan ocaklara su baskınları da söz konusu olabilir. Bir yeraltı işletmesinin su

kaynakları ile olan ilişkisi hayati öneme sahiptir. Bir ocağın fizibilite aşamasında su atımı ve su baskını ile ilgili gerekli incelemeler yapılmalıdır. Su konusuyla ilgili bazı etkilerle işletme aşamasında karşılaşıldığı için tüm etkileri en baştan belirlemek zordur. Bir ocakta su atımı

sisteminin; kurulması, işletilmesi ve denetlenmesi konusunda yönetimin ve ilgili teknik elemanların önemli bir rolü vardır. İşletmeye özgü bir “su atımı yönetim sistemi” oluşturmaları gerekir.

Bir maden ocağına gelen düzenli veya baskın niteliğindeki sular çalışanların sağlığı ve güvenliği ile üretim maliyetleri açısından önemli bir etkiye sahiptir. Ocak sularının etkilerini; dolaysız ve dolaylı etkiler olarak iki grupta toplamak olanaklıdır. Dolaylı etkilerini de ocak içindeki (yeraltında) ve ocak dışındaki (yerüstünde) etkiler olarak ele almak gerekir.

### 1.1 Su Geliri Kaynakları

Su atımı ile ilgili bir tasarım yapılırken öncelikle suyun hangi kaynak veya kaynaklardan gelebileceğinin öngörülmesi gerekir. Kaynaklar belirlendikten sonra su geliri tahmini veya ölçümleri yapılarak su gelirini veya baskınlarını önlemek için yerüstünden ve yeraltından önlem almak gerekir. Bu bağlamda fonksiyonel özelliklere sahip bir su atımı stratejisi;

- Su geliri kaynaklarını,
- Kaynaklardan sisteme giren suyun akış haritasını,
- Su toplama sistemini, su kanallarını, havuz ve tulumba dairelerini,
- Havuzlara gelen suyun debisini,
- Yedekler dahil tulumba kapasitesini,
- Boru şebekesinin detaylarını,

kapsamalıdır.

Bir maden işletmesindeki su geliri ve su baskını kaynakları aşağıda sıralanmıştır;

- Yağış kaynaklı sular (yağmur, kar, vb.)
- Yüzey suları (dere, nehir, gölet, göl, deniz, baraj vb. suları)
- Yeraltı suları, akiferler
- Çatlak ve boşluklarda birikmiş sular
- Karstik boşluklar, mağaralar.

- Eski ocaklarda ve imalatlarda biriken sular
- İşletme faaliyetlerinden gelen sular.

### 1.2 Su Gelirine Etki Eden Etkenler

Bir yeraltı maden işletmesinde su gelirine etki eden etkenler aşağıda sıralanmıştır:

- Arazinin jeolojik ve tektonik durumu,
- Ocağın fiziki ve coğrafi konumu, topoğrafya, yıllık yağış rejimi
- İşletme derinliği,
- İşletme yöntemi (ilerletimli-dönümlü; göçertmeli-dolgulu; vb.), tasman oluşumu,
- Örtü tabakalarının su içeriği (YAS-su tablası, akifer),
- Bünye suyu miktarı,
- İşletme yönetiminin olaya yaklaşımı ve su yönetimi.

Bu etkenler aynı sahada faaliyet gösteren madenlerdeki su gelirleri arasındaki farkı da açıklamada yardımcı olmaktadır.

### 1.3 Su Geliri Tahmini ve Ölçümü

Bir maden işletmesinde su gelirleri ve olası su baskınlarıyla mücadele edebilmek ve su yönetimini oluşturabilmek için su gelirini tahmin etmek veya ölçebilmek hayati öneme sahiptir. Su geliri tahmini; ocakta oluşturulacak havuz kapasitelerinin belirlenmesinde ve su atımı şebekesindeki tulumba kapasitesi ve sayısının tayininde belirleyici unsurdur.

Su geliri tahmininde aşağıda sıralanan hususlar dikkate alınmalıdır:

- Komşu işletmelerden atılan su miktarları (günlük, mevsimsel, beher ton başına vb.),
- Bölgeye ait hidrolojik, jeolojik, hidrometeorolojik, hidrojeolojik etütler,
  - o Tabakaların kalınlığı (stamp), litolojisi ve akiferin varlığı ile türünün tespiti,

- Akifer ve çevre kayaçların geçirgenliği,
- Fayların yeri ve özellikleri,
- Ocak planı,
- Yeraltı suyunun özellikleri,
- Açılacak yarma, sondaj ve su kuyuları yardımıyla su gelirini tahmin etmek/ölçmek.

#### 1.4 Su Baskınına Karşı Alınabilecek Önlemler

Bir yeraltı maden işletmesinde su baskınlarına karşı aşağıda sıralanan önlemler alınabilir:

- **Yüzeyden Alınabilecek Önlemler:**
  - Yüzey sularının ocağa girişinin önlenmesi
  - Kuyuların ve ocak ağızlarının konumlandırılması
  - Dere ve nehirlerde oluşabilecek taşkınlara karşı gölet/baraj yapımı
  - Dere ve nehirlerin beton kanala alınması
  - Her türlü sızıntının önlenmesi
  - Geçirimsizliği sağlamak için gerekli yerlere çimento enjeksiyonu yapılması
  - Yeraltı su seviyesinin düşürülmesi (sondaj, vb. ile)
- **Yeraltından Alınabilecek Önlemler:**
  - Yeraltı su seviyesinin düşürülmesi
  - Emniyet topuklarının bırakılması
  - Su barajlarının yapılması (terkedilen veya çalışmaları biten ocak kesimlerinde)
  - Su geliri beklenen galeri kesitlerinin betonla kaplanması
  - Aşırı su geliri beklenen kısımlarda bekleme barajı yapılması
  - Su drenaj tünellerinin sürülmesi

- Su gelirine göre havuz ve tulumba kapasitesinin belirlenmesi (yedekleriyle birlikte)
- Su baskınına karşı yüksek risk içeren bölgelerde su kapılarının kurulması

#### 1.5 Ocak Sularının Özellikleri

Ocak suları süzülüp geldiği birimlere bağlı olarak asidik veya bazik özelliğe sahip olabilirler. Diğer yandan madencilik faaliyetleri nedeniyle katı parçaları, kıymık veya talaş gibi ahşap parçalarını taşıdıkları için kirli sulardır.

Tuzlu ve asidik kökenli sular tulumaların ve boru şebekesinin metal kısımlarında korozyona neden olur. Özellikle sülfürik asit ve bikarbonatlı sular korozyonda daha etkilidir. Bu tür suların bulunduğu ortamlarda korozyona karşı önlem alınması gerekir.

Bir ocak suyunun kaynağı; jeohidrokimyasal analizlerle tespit edilebilir. Bu sayede suyun bir akiferden mi yoksa eski bir ocaktan mı geldiği belirlenebilmektedir.

Kömür çevre kayaçları içinde bulunan kapalı bir akiferden gelen ocak suyunun karakteristik özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Alkali özellik, başlangıçta artar ve sonra derinlikle düşer.
- Tuzluluk derinlikle ve bir akiferden diğerine (derindekine) geçerken artar.
- Cl, Na, Mg, ve Ca içeriği derinlikle artar.
- Mn, Ba, Sr ve N derinlikle artar. Sülfat iyonları kaybolur veya eser miktardadır.

Eski bir ocaktan gelen suyun karakteristik özellikleri de aşağıdaki gibidir:

- Daha önce çalışılmış eski bir ocaktan gelen sular pirit oksidasyonu yapan ürünlerden arındırılmış olarak asıl kaynağın kimyasal özelliklerini aynen taşırlar.



- Bu nedenle, eski ocak suları demir ve sülfat içerir, H<sub>2</sub>S konsantrasyonu düşer ve çözülmüş sülfatlar kalır.
- Diğer yandan pH değeri durağan kalır ve oksidasyon yeteneği düşer.

## 2. SU ATIMI VE SU BASKINLARI İLE İLGİLİ MEVZUAT

Mevzuatımızda su atımı ve su baskınlarıyla ilgili hükümler; 3213 sayılı Maden Kanunu, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği yasası kapsamında yürürlüğe konulan “**Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği**” ile Başbakanlık Hazine Müsteşarlığı’nın 06.05.2015 tarih ve 2015/11 sayılı “**Maden Çalışanları Zorunlu Ferdi Sigortası (Sigorta) Kapsamında Yapılacak Risk İncelemesine İlişkin Genelge**”sinde yer almaktadır.

Maden Kanununun 7. maddesinde patlatma yapma ve alıcı ortama arıtma yapmadan su deşarjı ile kısıtlamalar vardır.

Yönetmelikte; işletmelerin yeraltı ve yerüstü çalışmalarında suların meydana getireceği tehlikelere karşı gerekli sağlık ve güvenlik tedbirlerini alması gerekir; eski çalışma yerleri, ocak içinde veya çevresinde su bulunması muhtemel tabakalar, faylar ve su kaynakları gibi doğal arızı su birikintilerinin durumu, genişliği ve derinliğiyle ilgili bütün bilgilerin, ayrıntılı olarak imalat haritalarına işlenmesi zorunludur; ocak ağızları, dış su baskınları ve heyelan gibi doğal afetlerin etkisinden zarar görmeyecek yerlerde seçilir; su baskınlarına karşı kontrol ve boşaltma sondajlarının yapılması gerekmektedir; içi suyla dolu olduğu bilinen tabakaların altında veya yakınında çalışılırken topuk bırakılması; vb. hükümler bulunmaktadır.

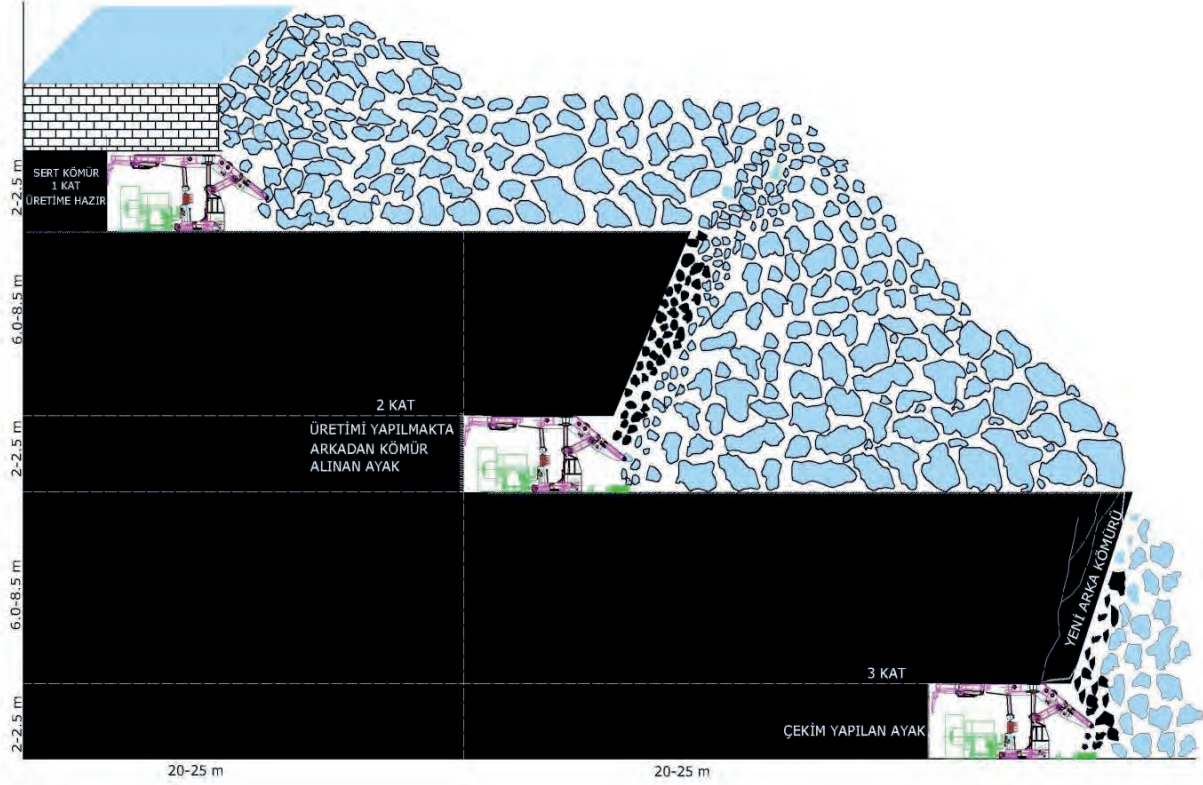
“**Maden Çalışanları Zorunlu Ferdi Sigortası (Sigorta) Kapsamında Yapılacak Risk İncelemesine İlişkin Genelge**”sinde Yeraltı Kömür Madenciliği ve Kömürden

Gayri Yeraltı Madenciliği İşletmeleri İçin Kontrol Listesi kapsamında su baskınlarına yer verilmiştir. Bir yeraltı kömür işletmesi su atımı ve su baskını yönetim sistemini oluştururken ve risk analizi yaparken genelgedeki sorulara cevap verilmesi gerekmektedir.

## 3 İŞLETMENİN KISA TANITIMI

İşletme Manisa iline bağlı Soma ilçe sınırlarında ve Soma’nın yaklaşık 25 km Güney batısında bulunmaktadır. İşletme sahasına yeraltı ve açık işletmelerin kullandığı maden yollarını kullanarak ulaşmak olanaklıdır. İmbat Madencilik A.Ş. tarafından rödevans usulü kömür işletmeciliği yapılmaktadır. Ortalama damar kalınlığının 26 m olduğu sahada 30 Milyon tonluk bir rezerv bulunmaktadır. Şirket sözleşme gereği linyit kömürü üretimi yanında TKİ’ye ait lavvarda yıkama-zenginleştirme ve torbalama hizmetlerini de yürütmektedir.

İşletmede; geri dönümlü, arka göçertmeli, çok katlı uzun ayak yöntemiyle üretim yapılmaktadır. Yarı mekanize üretim yöntemi uygulanmakta olan ocakta 2015 yılı Aralık ayından itibaren D-13 panosu 2. kata tam mekanize üretime başlanmıştır (Ekici, Satılmış 2016). Pilot olarak yapılan bu uygulamadan elde edilen sonuçlara göre diğer panolarda da tam mekanize üretime geçilecektir. Kömür damarının kalınlığına ve tektonik yapının durumuna göre; tek dilim, iki dilim veya üç dilim halinde üretim yapılmaktadır (Şek. 1).



Şekil 1. Geri dönüşlü arkadan göçertmeli çok katlı uzun ayak üretim yöntemi

#### 4 İMBAT YERALTI OCAĞI SU ATIMI YÖNETİMİ

İmbat yeraltı ocağındaki ana su atımı yönetimi mevsimsel su geliri de dikkate alınarak tasarlanmıştır. Normal koşullarda ocaktaki su gelirinin iki kaynağı vardır. Bu kaynaklardan birincisi tabakalar arasında süzülüp gelen sulardır. Su geliri miktarı yıllık yağış rejimine bağlı olarak yaz ve kış aylarında değişim göstermektedir. İkincil kaynak ise yeraltında boşlukların, eski imalatların doldurulmasında ve kendiliğinden yanmayı önlemek amacıyla ocağa sürekli olarak basılan kül dolgudan gelen sudur. Yeraltı ocağının su geliri yaklaşık olarak  $150 \text{ m}^3/\text{h}$ 'tir. Ocağın muhtelif kesimlerindeki tali havuzlarda (su ceplerinde) biriken sular muhtelif kapasite ve güçteki dalgıç tulumbalarla ana havuzlara basılmaktadır. Ana havuzlarda toplanan sular da  $160 \text{ kW}$  gücündeki tulumbalarla iki kademeli (+50/+245/-245/+374) olarak ocak dışına basılmaktadır.

Ayrıca; ana nefeslik içinde +370 kotunda serbest bir akiferden sürekli olarak gelen bir su mevcuttur. Su geliri yaz aylarında  $28-30 \text{ m}^3/\text{h}$  iken ve kış aylarında  $180 \text{ m}^3/\text{h}$  düzeyine çıkabilmektedir. Bu kottaki havuzda biriken sular da nefeslikten dışarıya atılmaktadır. Nefeslik içindeki havuza bağlı tulumba sisteminde herhangi bir arıza olması veya pompaların yetersiz kalması durumunda sular iki adet boru hattıyla +245 kotundaki ana havuza kapalı devre ile gönderilmektedir.

Mevcut tulumba kapasiteleri ve tulumba sayıları süzülen suları güvenli bir şekilde pano dibi ceplere taşıyabilecek yeterliliktedir. Pano diplerindeki ana su cepleri ve bu ceplerinde kurulu bulunan tulumba kapasiteleri (yedekler dahil) su geliri açısından yeterlidir.

3213 sayılı Maden Kanununun 7. Maddesi açısından değerlendirme yapıldığında; işletme bölgesinde herhangi bir içme ve kullanma suyu rezervuarının maksimum su

seviyesinden itibaren 1000-2000 m mesafe genişliğindeki şeritte üretim yapılmamakta, alıcı ortama arıtma yapılmadan doğrudan su deşarj edilmemekte, çevre ve insan sağlığına zarar verilmemektedir. Enyakın su kaynağı 4117 m mesafededir.

Yönetmelik kapsamında su atımı ve su baskınları ile ilgili olarak işletme tarafından alınan önlemlerin değerlendirmesi aşağıda yapılmıştır:

- İşletme yeraltı ve yerüstü çalışmalarında suların meydana getireceği tehlikelere karşı gerekli sağlık ve güvenlik tedbirlerini belirli ölçüde almıştır. Su atım yönetim sistemi oluşturulmuştur.
- Eski çalışma yerleri, ocak içinde veya çevresinde su bulunması muhtemel tabakalar, faylar ve su kaynakları gibi doğal arazi su birikintilerinin durumu, vb. ilgili bütün bilgiler, ayrıntılı olarak imalat haritalarına işlenmiştir. Eski imalatlarda ve terk edilen panolarda su birikip birikmediği yapılan sondajlarla periyodik olarak kontrol edilmektedir.
- Su baskını ihtimali olan bölgelerde çalışanların korunması ve güvenli bir çalışma ortamı sağlanması için yürütülecek faaliyetlerin sağlık ve güvenlik dokümanında belirli ölçülerde planlandığı görülmüştür.
- Ocak ağızları, dış su baskınları ve heyelan gibi doğal afetlerin etkisinden zarar görmeyecek yerlerde seçilmiştir. Sadece, eski ana nakliyat desandresi giriş ağızı etrafındaki setin bir miktar yükseltilmesi gerekebilir.
- Fay kenarları ve boşluklarında biriken yeraltı suyunun tehlikeye neden olabileceği durumlar ve eski çalışma

yerlerinde su birikme ihtimaline karşılık kontrol sondajları yapılmaktadır. Eğer, bir su geliri varsa yelpaze şeklinde açılan rahatlatma sondajlarıyla sular boşaltılmaktadır.

Başbakanlık Hazine Müsteşarlığı'nın genelgesi gereği yeraltı ocaklarında sel ve su baskınları için kontrol edilmesi gereken hususlar konusunda aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır:

- İmbat yeraltı ocağı planlanırken ocak yerüstü bağlantıları sel ve su baskınlarından, heyelan vb. yerüstü olumsuz tabiat olaylarından etkilenmeyecek şekilde yapılandırılmıştır.
- Mevcut yeraltı ocağının tulumba kapasiteleri ve yedekleri su geliri ile başedebilecek kapasitede olup yeterlidir. İşletmenin mevcut ana havuzunun yedeği yeterli değildir. Aynı durum ana nefeslik içindeki havuz için de söz konusudur.
- İmbat yeraltı ocağı için;
  - o Yerüstü ve yeraltı su baskını tehlikesi içeren bölgeler tespit edilip planlara işlenmiştir.
  - o Yerüstü ve yeraltı su baskını tehlikesi içeren bölgelere yeterli topuk bırakılmıştır.
  - o Pano planları oluşturulurken ve üretimi biten panolar kapatılırken eski imalat bölgelerinin su içeriği dikkate alınmaktadır.
  - o Su geliri açısından tehlikeli bölgelerdeki ilerlemelerde kontrol sondajları yapılmakta ve su varsa ferahlatma sondajları ile sular boşaltılmaktadır.

- Ocak yapısı gereği yeraltında su toplama kanalları bulunmamaktadır. Ocağın neresinde olursa olsun bir su geliri ile karşılaşıldığında su ceplerde toplanmakta ve oradan ana su ceplerine tulumba+boru şebekesi yardımıyla basılmaktadır. Dolayısıyla, çalışanlar açısından su geliri halihazırda bir tehlike kaynağı değildir.

## 5 JEOLJİK YAPININ SU GELİRİNE ETKİSİ

Soma Havzası'nda kömürlü Neojen formasyonlarının temelinde Paleozoyik zamana ait grovak ve Mesozoyik zamana ait kireç taşı birimleri bulunmaktadır. Paleozoyik ve Mezozoyik yaşlı temel kayaların üzerine neojen formasyonları diskordansla gelmektedir. Bu iki serinin her biri ayrı ayrı kapalı bir sedimantasyon devresinin ürünleridir. Soma bölgesindeki Neojen yaşlı birimler "Soma Formasyonu" ve "Deniş Formasyonu" olmak üzere iki formasyondan oluşmaktadır.

KM-2 ana kömür damarı ve KM-3 Orta kömür damarı Soma Formasyonu içinde yer alırken, KP-1 kömür damarı Deniş formasyonu içinde bulunmaktadır.

Havzada Miosen öncesinde Alp orojenezinin son safhalarında tektonik faaliyet sonucu pek çok fay oluşmuştur. Bu faylanmalar Neojendeki sedimantasyon esnasında da aktivitelerini sürdürmüşlerdir. Büyük fayların atımı, yer yer 100 metreye ulaşmaktadır. Bunun yanında, irili ufaklı çok sayıda normal fay da mevcuttur.

Formasyonlara hidrojeolojik özellikleri açısından bakılacak olursa basitçe; kömürlü seri (KM2) üzerinde yarı geçirimli marn tabakalarının (M2) yer aldığı ve marnın üzerinde akifer özelliğine sahip kireçtaşlarının bulunduğu görülmektedir. Bu serinin üstünde geçirimsiz tabakalar yer almaktadır. Bunların üzerinde yarı geçirimli ve akifer özelliğindeki tabakalar uzanmaktadır. MTA'nın Hidrojeoloji Ön Raporu'ndan geçirimli olarak tanımlanan kireçtaşı, kil, kum taşı, çakıl seviyelerindeki akiferlerin "kuru" nitelikte olduğunu işaret etmektedir (MTA 2013). İşletme için örtü tabakaları açısından önemli olan durum; işletme yöntemi gereği ve sahada mevcut çok sayıda fayın da katkısıyla; üretimi izleyen 3-5 ay içinde oluşan büyük tasman hareketlerinin yüzey sularını üretim alanlarına iletmesi olmaktadır.

## 6 YERALTI OCAĞI SU GELİRİ KAYNAKLARI

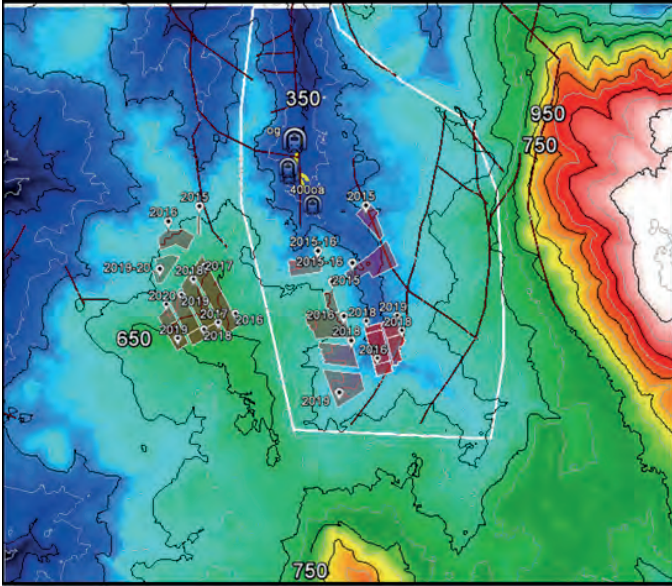
İmbat Madencilik yeraltı ocağı su geliri kaynakları oldukça sınırlıdır. En önemi su geliri yağış kaynaklıdır. Diğer kaynaklardan su geliri oldukça azdır. İşletmenin ana ve tali su geliri kaynakları aşağıda detaylı olarak incelenmiştir (Akçın vd. 2016).

### 6.1 Yağış Kaynaklı Su Geliri

Manisa İlinde iklim Ege kıyılarına nazaran daha serttir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçer. Türkiye için belirlenen iklim sınıflandırmasına göre Soma "Yarı Nemli Akdeniz İklim Tipi"ne dahildir. Ortalama olarak yılın 80-90 günü yağışlı geçmektedir. Yıllık yağış miktarı (1981-2010

yılları arası) ortalama  $m^2$  ye 600,0 kg'dır(600 mm) (MGM, 2015).

İmbat Madencilik rödevans sahasının hidrolojik yapısına göre G Panolarının bulunduğu yamaca düşen yağmur suları yamaçtan aşağıya doğru akarak ruhsat sahasını terketmektedir. Dolayısıyla bu kesimden yeraltı ocağına önemli bir su geliri olması söz konusu değildir. D panolarının bulunduğu alanda ise çok geniş bir su toplama alanı mevcuttur ve bu alandan biriken yüzey sularının önemli bir bölümü Karanlık Dere'den akmaktadır (Şek. 2).



Şekil 2. Sayısal Yüzey Modeli üzerinde Karanlık Dere hidrolik etki alanı sınırı

Bu bölgenin yıllık alansal yağış miktarına göre, hidrolik etki alanına  $5.804.958 m^3$  yağış düşmektedir. Bunun 1/3'nün yüzey suyu olarak aktığı benimsenirse, Karanlık Dere'den yılda  $1.934.986 m^3$  suyun serbest olarak aktığı söylenebilir. Bu alanın yamaçlarının kısmen dik olmasının yağış yoluyla gelen suyun hızla akıp gitmesine neden olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yağış kaynaklı su gelirinin önemli bir sorun yaratmadığı ve gelecekte de yaratmayacağı sonucuna

varılabilir. Örtü tabakalarının kalınlığı (min 446 m ve max 644m) ve geçirimsiz jeolojik birimler de bu durumu desteklemektedir.

Yağış kaynaklı suların işletme sonucu oluşan tasman yarıklarından ocağına intikal etmesi söz konusudur. Bu nedenle özellikle Aralık, Ocak ve Şubat aylarında oluşan tasman açılmalarının (yarıklarının) kısa sürede doldurularak sıkıştırılmasında yarar vardır. Karanlık Dere yatağında oluşacak tasman etkisine karşı dere yatağı tabanının, daha öncede yapıldığı gibi, dolgu malzemesi ile doldurulup düzeltilmesi gerekecektir.

## 6.2 Yüzey Suları

İmbat Madencilik yeraltı ocağının bulunduğu sahada göl, gölet, nehir vb. gibi bir su kaynağı bulunmamaktadır. Sadece kuru dere niteliğinde olan Karanlık Dere işletme sahasının içinden geçmektedir. Yağışlı dönemlerde ve aşırı su gelirinin olduğu durumlarda dere yatağından gelen fazladan su, dinlendirme havuzlarının olduğu kısımda bulunan menfezden işletme sahasının dışına kadar kapalı kanal içinde taşınmaktadır.

## 6.3 Yeraltı Suları, Akifer

Soma bölgesinin jeolojik yapısı ve stratigrafik kesiti göz önünde bulundurulduğunda İmbat yeraltı ocağı için önemli bir yeraltı su kaynağı bulunmamaktadır. Geçirimli olarak tanımlanan kireçtaşı, kil, kum taşı, çakıl seviyelerindeki akiferler “kuru” niteliktedir.

## 6.4 Çatlak ve Boşluklardan Su Geliri

Havzada Alp orojenezinin son safhalarında tektonik hareketler sonucu ortaya çıkan çok

sayıda fay bulunmaktadır. Büyük fayların atımı, yer yer 100 metreye ulaşmaktadır. Bu fayların boşluklarında su birikmesi söz konusudur. Hazırlık çalışmaları sırasında taban lağımları sürülürken faylara yaklaşıldığında kontrol sondajları yapılmakta ve fay boşluklarında biriken sular varsa ferahlatma (boşaltma) sondajlarıyla boşaltılmaktadır.

### 6.5 Karstik Boşluk ve Yeraltı Mağaralarından Su Geliri

Soma Havzasının jeolojik yapısı ve stratigrafik kesiti göz önünde bulundurulduğunda havzada ve işletme sahasında büyük boyutlu boşluk ve yeraltı mağarasının bulunmadığı görülmektedir. Bu güne kadar MTA ve işletmeler tarafından yapılan sondajlarda bu tür oluşumlarla karşılaşmamıştır ve çok büyük sondaj suyu kayıpları olmamıştır. Sadece kireçtaşı birimlerinde içinde su bulunmayan kuru nitelikte küçük boşluklara rastlanmıştır. Dolayısıyla karstik boşluklardan veya yeraltı mağaralarından herhangi bir su geliri veya su baskını olasılığı bulunmamaktadır.

### 6.6 Eski Ocaklardan ve İmalatlardan Su Geliri

İmbat yeraltı ocağında eski ocaklardan ve imalatlardan su gelme ve su baskını olasılığı oldukça düşüktür. Halen üretim yapılmakta olan ve hazırlıkları süren panolar eski imalatlardan oldukça uzaktadır. Mevcut yeraltı ocağına eski imalatlardan ve komşu işletmelerden herhangi bir su geliri ve su baskını olasılığı yoktur.

### 6.7 İşletme Faaliyetlerinden Su Geliri

İşletme faaliyetleri nedeniyle en önemli su geliri kül dolgu malzemesinden olmaktadır. Çalışılan panolara günde ortalama 600 m<sup>3</sup> kül dolgu malzemesi basılmaktadır. Bu miktarın 200 m<sup>3</sup>'ü kül geri kalanı sudan ibarettir. Dolgu işleminden sonra suyun büyük bir kısmı süzülerek ocak ortamına gelmektedir. Bu su, elektrik motorlarının soğutulmasında kullanılan ve diğer faaliyetler sonucu gelen sularla birlikte ele alındığında ortaya çıkan toplam su miktarı günlük 400 m<sup>3</sup> civarındadır. Bu su miktarı, kurak aylarda ocaktan atılan su miktarının yarısına ulaşmaktadır.

## 7 OCAKTAN ATILAN SUYUN ÖZELLİKLERİ

İmbat yeraltı ocağından dışarıya iki farklı kalitede su deşarj edilmektedir. Ana nefeslikten atılan temiz suyun içinde herhangi bir kirletici vb. bulunmamaktadır. G-9 havuzundan atılan su ise nispeten bulanık ve kirlidir. Ocaktan dışarıya atılan suyun özelliklerini belirlemek üzere firma tarafından su analizleri yaptırılmıştır.

Arsenik, sodyum ve sülfat değerleri “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik” hükümleri açısından uygun değildir. Suyun pH değeri ise sabit kalmıştır. Ocaktaki su havuzlarında yapılan ölçümlerde de pH değerinin 7,8-8,0 civarında olduğu görülmüştür. Ocaktan atılan suyun bir kısmı “Ters Osmoz” yöntemiyle arıtılarak kullanma suyu olarak değerlendirilmektedir.

## 8 İMBAT YERALTI OCAĞI SU BASKINI KAYNAKLARI

Yeraltı ocağı su baskını kaynaklarını yerüstü ve yeraltı kaynakları olarak ele almak gerekir. Aşağıda bu kaynaklara ilişkin veriler detaylı olarak aşağıda verilmektedir.

İmbat yeraltı ocağı için yerüstünden bir su baskını olayı sadece yağış kaynaklı olabilir. İşletmenin bulunduğu alanda herhangi bir durgun veya akarsu kaynağı bulunmamaktadır. Yağış kaynaklı su baskını olasılığı da oldukça düşüktür. Yeraltı ocağının giriş ağızları dere yatağından 10-15 m yukarıda olduğu için herhangi bir su baskını riski bulunmamaktadır.

Ocağına yeraltından su baskını için iki kaynak bulunmaktadır. Birincil kaynak fay çatlakları ve boşluklarda biriken sulardır. Hazırlık çalışmaları sırasında bu tür yerlere yaklaşıırken kontrol sondajlarının yapılmakta ve su varlığı tespit edildiğinde yelpaze şeklinde açılan ferahlatma sondajları ile bu suların boşaltılmaktadır. Bu nedenle bu kaynaktan su basma olasılığının az olduğu kabul edilebilir.

İkincil kaynak ise ana nefeslik içinde +370 kotunda bulunan sebest akiferden gelen sürekli su akışıdır. Bu kesimdeki tulumba kapasiteleri /yedekleri ile birlikte) yeterlidir. Ancak, işletmenin su atım yönetim sisteminde de belirtildiği gibi bu kaynaktan beklenenin üstünde bir su gelmesi durumunda ocağa su basmaması için ek bir önlem alınmıştır.

Eski ocaklardan veya imalatlardan herhangi bir su baskını tehlikesi bulunmamaktadır. Zira, karstik boşluk veya yeraltı mağaralarından oluşabilecek bir su baskını olasılığı bulunmamaktadır.

## 9 İŞLETME YÖNTEMİ VE ÜRETİM PLANININ SU GELİRİNE ETKİSİ

İşletme esas olarak dilimli dönümlü-göçertmeli ara topuklu uzun ayak yöntemi uygulanmaktadır. 3 dilim tefrik edilmiş olup 1.dilim tavan taşı, 3. dilim taban taşı takip edecek şekilde ve 2. dilim damarın ortasında oluşturulmaktadır. Dilimler arasındaki damar kısımları ayaklar arkasından alınmaktadır. Bu üretim yöntemi ile büyük hacimlerin boşaltılması ve ciddi tabaka hareketleri/tasmanlar oluşması söz konusudur.

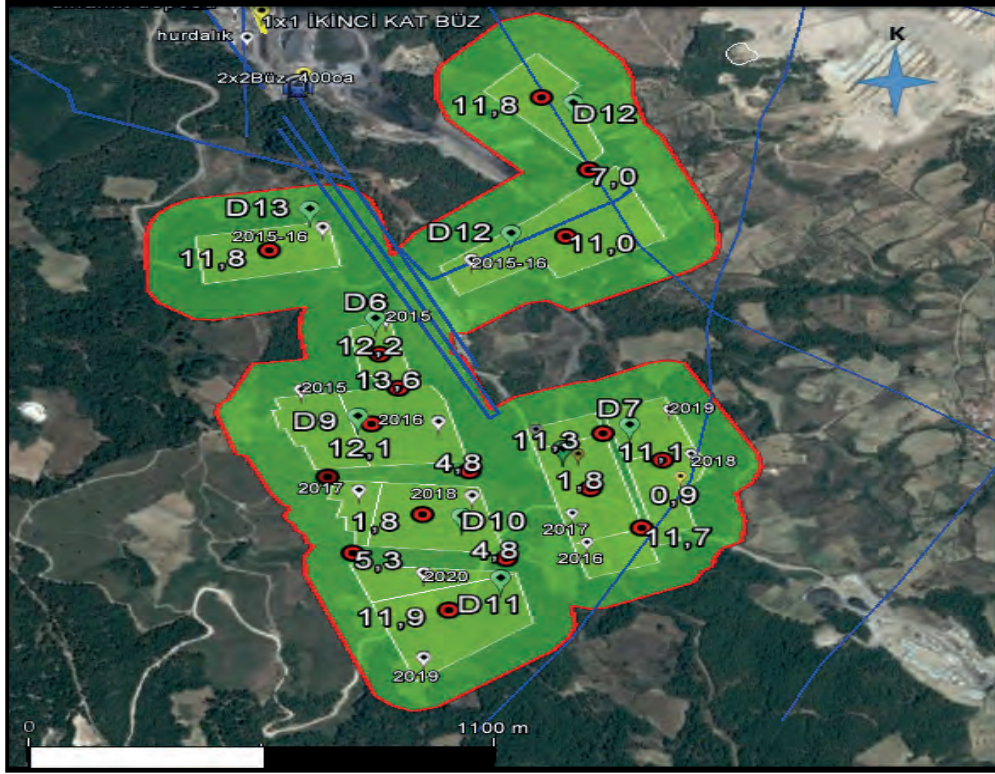
Üretim termin planlamasına göre işletme; Doğu panolarında güneye doğru, Güney panolarında ise batıya ve güney-batıya doğru genişlemektedir. Başka bir bakış açısıyla merkezden sınırlara doğru ilerletimli bir çalışma söz konusudur.

Yukarıda anlatılan koşullarda; su atım miktarlarında yıllar içinde giderek bir artış olacağı öngörülebilir. Ancak, işletmenin mevcut su atımı sistemi artan suyla başedebilecek kapasitededir.

## 10 TASMAN OLUŞUMLARININ SU GELİRİNE ETKİSİ

Ruhsatlı sahada 2015-20 yılları arasında üretimi gerçekleştirilecek panoların üretim ortamından yeryüzüne kadar oluşan tasman büyüklükleri; Ayrık Elemanlar Profil Yöntemi ve ISP Tec Yöntemi ile kestirimi (Akçın vd. 2012; Akçın 2014) için üretimin her bir litolojik biriminin modellenmesine yönelik olarak tüm üretim panolarını kapsayacak şekilde 14 adet jeolojik kesit çıkartılmıştır. Tüm kesitler için tasman faktörleri hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra üretim yapılacak tüm panoların etki alanını

belirten aktif tasman büyüklükleri belirlenmiştir (Şek. 3)(Akçın vd. 2016)



Şekil 3. Doğu bloğunda oluşması beklenen kümülatif aktif tasman değerleri (m olarak)

Yapılan değerlendirmeler sonucunda:

- Üretim yapılan damarın sahada yatay bir form izlemesi nedeniyle en büyük yüzey tasman oluşumları üretim panolarının merkezlerinde oluşacaktır. Bu nedenle pano merkezlerine rastlayan bölümlerde Batı bloğunda en büyük 15 m, Doğu bloğunda ise 12 m civarında kümülatif yüzey çökmeleri beklenmektedir.
- Yüzeyde çekme gerilmelerine bağlı büyük yarılmalar ve yüzey topoğrafyasının eğimli yamaç kısımlarına denk gelen bölümlerinde kaymalar meydana gelmesi muhtemeldir.
- Analitik formüller ve entegre tasman kestirimi sonucu elde edilen tasman etki alanlarının; yüzeydeki tesislere, kuru dere yatağı üzerindeki büzlere ve

ocak giriş çıkış noktalarına bir etkisi olamayacaktır.

- Yeryüzü hidrolojik hatların kestirilen tasman etki alanları ve büyüklükleri ile ilişkisi incelendiğinde hidrolojik hatların; 2016 üretimi D-12 panosu, D-8, D-11, G-12 ve G-16 üretim panoları üzerinde çakıştığı belirlenmiştir. Bu bölgelerde oluşacak özellikle çekme gerilmesine bağlı yüzey yarıklarının mutlaka kontrol altında tutulması ve açılmaların en kısa sürede su gelirini önleme açısından kapatılması gerekmektedir.

## 11 SONUÇLAR

Bu çalışmada; İmbat Madencilik Soma Eynez İşletmesi yeraltı ocağına yerüstünden ve yeraltından su baskını tehlikesinin olup



olmadığı çeşitli yönleriyle ele alınmış ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- İşletme tarafından yeraltı ocağı için uygun bir su atım yönetim sistemi kurulmuştur. Sistem yürürlükteki mevzuat hükümlerine uyumludur.
- Su ceplerinde ve ana havuzlardaki kurulu tulumba kapasitesi yeterlidir ve yedek tulumba bulunmaktadır.
- Tulumba kapasiteleriyle uyumlu bir boru şebekesi kurulu vaziyettedir.
  - Ana nefeslik içindeki havuz kapasitesi yeterli değildir ve yedeği de bulunmamaktadır. Ancak; işletme ikinci hava giriş desandresi içinde yeni bir havuz (yedek) açmayı planlayarak sorunu gidermiştir.
- Hazırlık çalışmaları sırasında faylara yaklaşılırken kontrol sondajları yapılmakta ve akabinde su varlığı tespit edilirse yönetmelikte belirtilen şekilde ferahlatma çalışmaları yapılmaktadır.
- Eski imalatlardan gelebilecek sular için gerekli önlemler alınmıştır ve sürekli olarak izlenmektedir. Eski imalatlarla ve komşu işletmelerle arada yeterli koruma topukları bırakılmıştır.
- Tasman etki alanlarının yerüstü tesislerine, Karanlık Dere yatağındaki menfezlere ve ocak girişlerine herhangi bir etkisinin olmayacağı görülmektedir. Tasman nedeniyle oluşacak yarıkların en kısa sürede kapatılması gerekmektedir.
  - Yeraltı ocağına yüzeyden su baskını olma olasılığı oldukça zayıftır.

İlişkin Yeni Bir Yaklaşım Modeli, 18. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 6-8 Haziran, Zonguldak

Akçın H., 2014, Kömür Madenciliğinde Tasman Risk Değerlendirmesi, 19. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 21-23 Mayıs, Zonguldak.

Akçın N. A., Didari V., Ünlü T. ve Akçın H., 2016, İmbat Madencilik Soma-Eynez işletmesinde Yeraltı ve Yerüstü İşletmesinde Su Baskını tehlikelerinin araştırılması, BEÜ Döner Sermaye Araştırma Projesi, 119s.

Ekici, A. ve Satılmış, U., 2016, imbat Madencilik'te Uygulanmakta Olan Yarı ve Tam Mekanize Sistemlerin İncelenmesi ve Karşılaştırılması, 20. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s 11-24, 21-23 Mayıs, Zonguldak.

MGM, 2016, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Yıllık Toplam Alansal Yağış Verileri. (<http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yillik-toplam-yagis-verileri.aspx>).

MTA, 2013, Manisa Soma Eynez Kömür Sahası Hidrojeoloji Ön Raporu. Proje No:2012.33.35. 30s.

## KAYNAKLAR

Akçın H., Ünlü T., Yılmaz Ö., 2012, Kömür Üretim Bölgelerinde Zamansal Tasman Kestirimine

# Yerüstü Maden Ocaklarında Uzaktan Kontrol Sisteminin Önemi

## *Importance of Remote Control System in Open Pit Mines*

A. Sakcalı, H. Yavuz

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta*

**ÖZET** Son zamanlarda maden işletmelerinde yaşanan kazalar nedeniyle yerüstü maden ocaklarında iş ve işçinin kontrolü maden ocaklarında en önemli faaliyetlerden biri haline gelmiştir. Küçük ölçekli yerüstü maden ocaklarında işin kontrolü kolay olabilmesine rağmen maden ocağının ölçeğinin büyümesi iş kontrolünü zorlaştırmaktadır. Günümüzde kameralı güvenlik sistemleri sosyal hayatımızda evden işe pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kamera sisteminin yanı sıra herhangi bir hareket olması durumunda hareket, ısı gibi farklı algılayıcı sensörler kullanılarak uyarı verdirilebilmektedir. Benzer şekilde maden ocaklarında da güvenlik sistemlerinin yaygınlaştırılması hem iş ve işçi kontrolü hem de iş güvenliği için önemli bir adım olacaktır.

Bu çalışmada, prototip olarak bir yerüstü maden ocağı oluşturulmuş ve küçük bütçeli kamera sistemleri kurulmuştur. Kamera dışında belli frekans aralığında çalışabilen hareket sensörü kullanılarak uyarı verdirebilen bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistemin çalışmasının kontrolü için hali hazırda çalışan bir mermer ocağı pilot uygulama olarak tercih edilmiştir. Bu sistem işletmecinin ve mühendislerin ocağı her zaman bilgisayar ve telefondan kontrol etmesini, ocak işleyişinin değiştiği durumlarda doğrudan müdahale etmesini sağlayacaktır. Bu ve benzeri uygulamaların hayata geçirilmesi ile maden işlerinde iş-işçi kontrolü ve güvenlik önlemlerinin daha kolay olacağı açıktır.

**Anahtar Kelimeler:** İş-işçi güvenliği, iş-işçi kontrolü, kontrol sistemleri, yerüstü madencilik.

**ABSTRACT** Recently, due to accidents in the mining operations, control of work and workers in open pit mining has become one of the most important activities in the mines. Though the work control may be easy in small scale open pit mining, the growth of the scale of the mine complicates the job control. Nowadays, camera security systems are widely used in our social lives at work from home. Besides the camera system, in case of any motion, warning is given using different sensors such as motion and heat sensors. Similarly, dissemination of the security systems in mines will be an important step for both work and worker control and work safety.

In this study, an open pit mining as prototype is formed and small budget camera system was established. Apart from the camera, a system that can give warning was developed using motion and sound sensors which be able to work in a certain frequency range. To control the operation of this system, a marble quarry is preferred as a pilot application. This system will provide that the business administrator and the engineer always control the quarry from the computer and the telephone and intervene directly when the operation changes. With the implementation of this and similar applications, it is clear that work-worker control and security measures will be easier.

**Keywords:** Work-worker safety, work-worker control, control systems, open pit mining.

## 1 GİRİŞ

Teknolojinin sürekli olarak gelişmesi insanoğlunun hayatındaki her alanda önemli ölçüde farklılıklar meydana getirmektedir. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak güvenlik ve iş kontrolü için de farklı gelişimler söz konusu olmaktadır. Farklı yöntemler kullanılarak güvenlik ve kontrol çözümleri sunulabilmektedir. İnsan gücüne dayalı olarak sunulan çözüm yöntemleri geleneksel yöntemlerdir. Geleneksel yöntemlerin olumlu sonuçlar vermemesi yerini elektronik sistemlere bırakmaktadır.

Her alanda olduğu gibi madencilik alanında da teknolojik yeniliklerden yararlanmak kaçınılmazdır. Üretim yapılan ocak sayılarının artması, yayılması ve derinleşmesi neticesinde çalışılan ortamların daha güvenilir ve sağlıklı hale getirilmesi için uzaktan izleme ve kontrol sistemlerinin kullanılarak tüm ocakların tek bir merkezden izlenmesi gerekli hale gelmiştir. Madenlerde meydana gelen çevresel parametreleri hızlı algılayacak sensörlerin kullanılması; bilginin sürekli olarak depolandığı, hızlı olarak işleme konulduğu ve anlaşılır bir biçimde sunulduğu elektronik sistemlerin kullanımı madenlerdeki çevresel şartların durumu hakkında kolay ve doğru karar vermeyi sağlamaktadır (Kocal ve Özçelik, 2002).

Bir maden işletmesinde karşılaşılan en büyük sorunlarından birisi de iş ve işçi kontrolüdür. İş kontrolünün yapılması için çalışma gruplarının başına farklı pozisyonlarda (çavuş, formen, vb.) personel ihtiyacı gerekmektedir. Böylelikle var olan işletme için ayrı bir işçi maliyeti ortaya çıkmaktadır. İş ve işçi kontrolünün birçok sektörde olduğu gibi madencilik sektöründe de işin işleyişini etkilediği aşikârdır. Gelişen teknoloji ile birlikte iş ve işçi kontrolünde birçok farklı teknolojik seçenekle karşılaşılmaktadır. Bu seçeneklerden güvenli ve tercih edilen çözümlerden biri ise kamera sistemleridir.

Maden ocaklarında kontrol sistemlerinin kullanılması iş kontrolünün yanı sıra iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından da önemli bir yarar sağlayacağı açıktır. Türkiye’de iş kazası geçirenlerin büyük bir bölümü madencilik ve taş ocakçılığı sektöründe

olduğu gibi bu oran sektörel olarak iş kazalarının %10,44’ünü oluşturmaktadır (TÜİK, 2013). Farklı kontrol sistemlerinin kullanılması iş kontrolünün yanı sıra iş güvenliği açısından da büyük önem arz etmektedir.

Maden ocaklarında hem iş kontrolü hem de iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından kontrol sistemlerinin çok büyük fayda sağlayacağı kesindir. Buna paralel değişecek işçi maliyeti ve makine kullanım oranı da önem taşımaktadır. Maden işlerinde işçi maliyeti ve ekipman kullanım oranı üretim maliyetini etkileyen önemli unsurlardandır. Maden işletmelerinde maliyeti artıran bir diğer etken işçi sağlığı ve iş güvenliği yatırımlarıdır (Topal, 2005). İşçi sağlığı ve iş güvenliği açısından çeşitli yatırımlar yapılmakta ve yeterli fayda alınmamaktadır. Uzaktan algılayıcı farklı kontrol sistemleri bu konudan çeşitli çözümler sunmaktadır.

Kontrol sistemlerinin yaygınlaştırılması ile iş ve işçi maliyetindeki değişim, maden ocaklarındaki iş güvenliği açısından kolaylık ve iş kontrolü gibi parametreler işçiye ve işverene kolaylık sağlayacaktır. SGK verilerine göre Türkiye’de 2015 yılında; kömür ve linyit çıkartılması, metal cevheri madenciliği, diğer madencilik ve taş ocakçılığı hizmetleri ve madenciliği destekleyici hizmetler gibi madencilik sektörlerinde 6736 iş yeri ve 128741 zorunlu sigortalı vardır (SGK, 2015). Bu demek oluyor ki; 6736 iş yerinde 128741 personelin kontrollü bir şekilde çalışması iş yerine ve işçiye güvenli bir iş ortamı sağlayacaktır.

Bu çalışmada, prototip bir maden ocağı oluşturularak küçük kameralar ve hareket sensörleri kullanılarak maden ocağında iş ve işçi takibi gerçekleştirilmesinin uygunluğu araştırılmıştır. Hareket anında hareket sensörleri kullanılarak kurulan sistemden uyarılar alınmıştır. Aynı şekilde kamera sisteminden de anlık görüntülerin yorumlanması vasıtasıyla piksel farkından kaynaklı hareket algılaması olup olmadığı incelenmeye çalışılmıştır. Kurulan bu prototipte kameralar vasıtasıyla hareketin algılanabileceği belirlenmiştir. Hareketin olmadığı durumda sistemin uyarı verdirilebileceği tespit edilmiştir.

Kurulan bu prototip ile bir maden ocağının benzer sonuçlar verip vermediğinin incelenmesi amacıyla çalışan bir mermer ocağında araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu mermer ocağında kameralı kontrol sisteminin kullanılmasının ne gibi yararlar sağlayacağı araştırılmıştır.

Yapılan bir prototip maden ocağında değerlendirmenin gerçekleştirilmesi ve bu sistemin bir mermer ocağında test edilmesi sonucunda kontrol sistemlerinin endüstriyel alanların çoğunda olduğu gibi maden ocaklarında da çok büyük faydalar sağlayacağı tespit edilmiştir. Madencilik çalışmalarında, GPS ve radar tabanlı uyarı sistemlerinden otomasyona, ekipler arası iletişimden uzaktan kumandalı kontrol donanımlarına önem verilmelidir (Bilim vd., 2015).

## 2 KAMERA KONTROL SİSTEMİNİN ÖNEMİ VE İŞLEYİŞİ

Kontrol sistemleri, kontrol edilmek istenen bölgelere yerleştirilen algılayıcılar, bu algılayıcılardan gelen bilgilerin toplanarak değerlendirildiği kontrol üniteleri ve kontrol ünitelerinin denetlediği uyarı elemanlarından oluşmaktadır (Yılmaz ve Daldal, 2006).

Sistemin izlenmesi ve denetlenmesinin gerçekleştirilmesinde kontrol ünitelerinde mikroişlemci teknolojisinin yanı sıra farklı kontrol yöntemleri de kullanılabilir (Dexter ve Trehwella, 1990; Sharples vd. 1999).

Hareket algılama için hareket sensörleri kullanılmasına rağmen görüntü analiz teknikleri kullanılarak kamera ile de büyük cisimlerin hareketi algılanabilmektedir. Algılanan bu cisim hareketliliğinin kontrolü için yetkili birimlere uyarı veya mail ve mesaj yoluyla bilgi yollanabilmektedir.

Kamera ile hareketin algılanmasında farklı algoritmalar kullanılmaktadır. Bu algoritmaların hepsinde hareket seviyesi tespiti ve anlık görüntü kareleri analizinde benzer işlemler yapılmaktadır. Bütün analizlerde de hareket seviyesi ölçümü [0, 1] aralığında hareket seviyesi ölçümüne dayanmaktadır (Çakır ve Babacan, 2011).

Kamera kayıtlarından hareket tespiti analizinde anlık iki görüntü arasındaki piksel değişiminden tespit etmek mümkündür. Birbiri arkasından alınmış anlık karelerin arka arkaya gösterilmesinden oluşmaktadır. Anlık görüntü kareleri arka arkaya gösterilerek, iki anlık görüntünün piksel değeri ve katsayı kullanılarak piksel tahmini gerçekleştirilir. Ortamda hareketin olmaması anlık iki görüntü arasında piksel değişikliğinin olmaması anlamına gelmektedir. Eşitlik 1’de herhangi bir andaki görüntünün tahmini piksel değerinin hesaplanması verilmiştir.

$$H_t = - \sum_{k=0}^{p=255} z_k H_{t-k} \quad (1)$$

Burada:  $H_t$ ; t zamanında pikselin tahmini değerini,  $z_k$ ; tahmin edilebilir katsayıyı,  $H_{t-1}$ ; pikselin geçmiş değerini vermektedir.

Bu değer hiçbir zaman 0 (sıfır) değildir. Bunun için belirli bir eşik değerin verilmesi gerekmektedir. Yani, iki anlık görüntü arasındaki piksel değişikliğinin mutlak değeri alınarak hareket eden cisim tespit edilebilmektedir.

Eşitlik 1’de  $z_k$  ve  $H_{t-1}$  eşitliğin sol tarafına atılırsa eşitliğin 0’a (sıfır) eşit olması gerekmektedir. Eşitlik 2’de de görüldüğü üzere  $E(e_t^2)$  eşik değeri elde edilmektedir.

$$E(e_t^2) = E(H_t^2) + \sum_{k=0}^{p=255} z_k E(H_t H_{t-k}) \quad (2)$$

Burada:  $E(e_t^2)$ ; t zamanındaki eşik değerini vermektedir.

Piksel değerini ortaya çıkarmak için eşik değerinin karekökünün 4 katı alınarak Eşitlik 3 ile hiç 0 (sıfır) olmayan  $\tau$  eşik değeri belirlenir.

$$\tau = 4\sqrt{E(e_t^2)} \quad (3)$$

$$S_t(x) = \begin{cases} 0, & H_t(x) - H_{t-1}(x) \geq \tau \\ 1, & \text{Aksi durumlarda} \end{cases} \quad (4)$$

Burada;  $S_i(x)$ ; eşik değere göre hareket eden alanı vermektedir.

Bu değerde fark 0 (sıfır) ise hareket yok demektir. Fark  $\tau$  değerinden büyükse ortamda hareket var demektir. Kontrol sistemi tasarımı farkın  $\tau$  değerinden büyük olması durumunda çalışmanın devam etmesi farkın 0 (sıfır) olması durumunda uyarı verdirilmesi prensibine dayanmaktadır. Yani, sistemde hareketin var olması durumunda sistem 0 (sıfır) değerini alır ve uyarı verdirilmeyip sistemin çalışmasına devam etmesi anlamına gelmektedir. Belirlenen bölgelerde hareketin olmaması sistemin 1 değerini almasına ve uyarı verdirilmesine neden olmaktadır. (Rosin ve Ellis, 1995; Vass vd., 1998; Toyama vd, 1999; İkinci vd., 2000; Haritaoglu ve Flickner, 2001; İkinci ve Gedikli, 2005; Piccardi, 2005; Çakır ve Babacan, 2011).

Ayrıca; kontrolcünün telefonuna mesaj yoluyla uyarı gönderilmesi sağlanmıştır. Böylelikle; kontrolcünün telefonunu açıp nerede iş düzeninde değişiklik olduğunu hızlı bir şekilde görebilmesi hedeflenmiştir.

### 3 YERÜSTÜ MADEN OCAKLARINDA KONTROL SİSTEMLERİNİN KULLANILMASI

#### 3.1 Prototip Bir Kontrol Sisteminin Oluşturulması

Yerüstü maden ocaklarında kontrol sisteminin kurulmasının uygulanabilir olduğunun incelenmesi için küçük bütçeli kameralar kullanılarak küçük ölçekli bir prototip maden ocağı oluşturulmuştur. Şekil 1'de prototip bir maden ocağında kontrol sisteminin test edilmesi gösterilmiştir.



Şekil 1. Prototip bir yerüstü maden ocağında kontrol sisteminin test edilmesi

Bu prototip üzerine farklı bölgelere küçük bütçeli kameralar konularak incelemeler değerlendirilmeye çalışılmıştır. Kameralı sistemle hareket algılamanın yapılabileceği araştırılması amacıyla kameralar dışında sisteme hareket sensörleri eklenmiştir. Makinelerin hareketi halinde gelen uyarılarla kameralar ve sensörlerle elde edilen hareket algılamaları karşılaştırılmıştır.

Prototip maden ocağında kullanılabilecek makinalar üzerine hareket sensörleri konulmuştur. Sistem maden makinalarının hareketi halinde sensörler tarafından algılayacak ve sistemin hareket halinde olduğunu belirleyecektir. Aynı şekilde kamera görüntülerinden de hareket halinde olup olmadığı tespit edilecektir. Hareket sensörü ve kamera ile hareket sisteminin kontrolü karşılaştırılmış ve yeterli görüş açısına ve çözünürlüğe sahip kameralar ile büyük makinelerin hareketlerinin algılanabildiği belirlenmiştir.

#### 3.2 Bir Mermer Ocağı'nda Uygulamanın İncelenmesi

Kontrol sisteminin maden ocaklarında kullanılabilirliğinin araştırılması için hali hazırda çalışan bir mermer ocağı tercih edilmiştir. Muğla'nın Kavaklıdere mevkiinde bulunan bu mermer ocağında daha önceden kurulmuş bir kamera sistemi ele alınmıştır. Bu ocağın bir görüntü ve kamera sisteminin kontrol odasından bir görüntü sırasıyla Şekil 2 ve 3'te verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın gerçekleştirildiği mermer ocağının bir görüntü



Şekil 3. Kontrol odasındaki kontrol panelinden bir görüntü

Bu mermer ocağında genel işleyişin kontrolü maden ocağında çalışan mühendisler tarafından gerçekleştirilmektedir. Kameralı sistem kurulmadan önce çavuş (işçi kontrolcüsü) kontrolünde yapılan iş ve işçi kontrolü artık yoktur. Bu sayede hem ayrı bir işçi maliyeti oluşmamakta hem de mühendis ile işçi arasında bir aracı olan çavuşlar kullanılmamaktadır.

Kameralı kontrol sistemi kurulmadan önce var olan sistem sayesinde üretilen mermer bloklarının kontrolü, hangi sahada çalışılacağı hangi işleme tabi olacağı yerine gidilerek tespit edilmekteydi. Kameralı kontrol sistemleri sayesinde kontrolcü çalışma sahasına inmeden nerede ne çalışma yapılacağını telsiz vasıtasıyla işçiye belirtebilmektedir. Böylelikle, üretim kontrolü ve üretilen mermer bloklarının nereye gittiği yerine gitmeden kameralı sistem ile izlenebilmektedir.

Kısa vadeli gözlemler sonucunda kameralı kontrol sisteminin mermer ocağına sağladığı faydalardan biri de iş güvenliği konusunda olmuştur. Bilindiği üzere iş güvenliği ekipmanlarının kullanımının zorunlu olmasına rağmen işçilere kullandırılması zor olmaktadır. Kontrol eden personelin yanında ekipmanlar kullanılmasına rağmen ocağa inince iş güvenliği ekipmanlarının çıkarılıp köşeye atıldığı karşılaşılan sorunlardandır. Kameralı kontrol sistemi sayesinde hangi işçinin nasıl hareket ettiği

gözlemlenebilmekte ve gerektiğinde hızlı bir şekilde müdahale edilebilmektedir.

#### 4 DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, yerüstü maden ocaklarında kullanılmak üzere kontrol sistemlerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda prototip bir maden ocağı oluşturulmuş ve küçük maliyetli kameralar bu prototip üzerine kurularak kamera ile hareketin algılanabilmesi kontrol edilmiştir. Prototipte ayrıca hareket sensörleri kullanılarak herhangi bir hareket halinde görüntü ile hareket tespiti ve sensörlerle hareketin tespiti karşılaştırılmış ve aynı sonuçları alınmıştır.

Kameralı kontrol sisteminin bir yerüstü maden ocağında kullanılmasının incelenmesi için hali hazırda çalışan kamera sistemi kurulu bir mermer ocağı tercih edilmiştir. Bu mermer ocağında kamera sistemi kontrol odasından makinelerin hareketi halinde iş kontrolünün gerçekleştirilmesi incelenmiştir. Çalışan makinelerin ve işçinin hareketi halinde sistem çalışmaktadır. Bu hareketin kesildiği durumlarda sistem iş kontrolünü gerçekleştiren kişinin telefonuna mesaj göndermektedir.

Bu çalışmanın değerlendirilmesi neticesinde maden ocaklarında kameralı kontrol sisteminin sağladığı avantajları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- İşçilerin kontrolü için ayrı bir personel çalışmayacağı için farklı pozisyonlarda çalışan kontrol personeline (çavuş, formen, gibi) ihtiyaç olmayacaktır.
- İşçiler vardiya değişimi, yemek arası, çalışma molası öncesi ve sonrasında işin bitimine kısa süre kalması durumlarında işi boşladıkları gözlemlenmiştir. Kameralı kontrol sisteminin kullanılması ile oluşacak bu ve benzeri iş kayıplarının engelleneceği kesindir.
- Kontrol sisteminin iyi işlemesi halinde işçinin başıboşluktan kurtulması ve iş düzeninin daha düzenli bir şekilde işleyişi sağlanacaktır.

- İşçinin zoraki kullandığı iş güvenliği ekipmanlarının kontrolü kolaylıkla gerçekleştirilebilecektir.
- Kontrol sisteminin iyi işlemesi ve hareket algılamasının iyi yapılabilmesi durumunda yaşanacak iş kazalarının hızlı tespiti ve yerinde müdahale hızlı yapılabilecektir.
- Kontrollü çalışma mühendislik uygulamalarında önemli bir parametredir. Unutulmamalıdır ki mühendislik uygulamalarının temel prensibi ölçümlere dayanmaktadır. Kameralı kontrol sistemleri de verilerin hızlı ve çok alınabildiği bir kontrol sistemidir.

## KAYNAKLAR

- Bilim, N., Dursun, A.E., Bilim, A., 2015. Maden Ekipmanlarına Bağlı İş Kazalarının Genel Değerlendirmesi ve Çözüm Önerileri, *Türkiye 5. Uluslararası Maden Makinaları Sempozyumu ve Sergisi*, Eskişehir.
- Çakır, H., Babacan, H.K., 2011. Hareketi Algılayan Kamera Destekli Güvenlik Programı, *G.Ü. Bilişim Teknolojileri Dergisi*, Ankara, 4 (2), s. 19-24.
- Dexter, A.L., Trehwella, D.W. 1990. Building Control Systems: Fuzzy Rule-based Control and Performance Assesment, *Building Services Eng. Res. and Technology*, 11 (4), s. 115-124.
- Ekinci, M., Gedikli, E., 2005. TUBITAK Silhouette Based Human Motion Detection and Analysis for Real-Time Automated Video Surveillance, *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer*, 13(2), s. 199-299.
- Ekinci, M., Gibbs, F.W., Thomas, B.T., 2000. Knowledge-Based Navigation for Autonomous Road Vehicles, *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer*, 8 (1), s. 1-29.
- Haritaoglu, I., Flickner, M., 2001. Detection and Tracking of Shopping Groups in Stores, *Proceeding of the 2001 IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, 1 (2), s. 8-14.
- Kocal, F., Özçelik, Y., 2002, Kömür Madenciliğinde Uzaktan İzleme ve Kontrol Sistemleri ve Kozlu (TTK-Zonguldak) Müessesesindeki Uygulamalar, *Türkiye 13. Kömür Kongresi*, Zonguldak, s. 357-370.
- Piccardi, M., 2005. Background Subtraction Techniques: a Review, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Netherland, s. 3099-3104.
- Rosin, P.L., Ellis, T., 1995. Image Difference Threshold Strategies and Shadow Detection, *Proceeding of British Machine Vision Conference*, UK, s. 347-356.
- SGK, 2015, Tablo 1.16- 5510 Sayılı Kanununun 4-1/a Maddesi Kapsamındaki İşyeri, Zorunlu Sigortalı Sayıları ve Prime Esas Ortalama Günlük Kazançların Sektör ve Faaliyet Gruplarına Göre Dağılımı, 2015. Erişim Tarihi: 12.01.2017. Erişim Adresi: [http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk\\_istatistik\\_yilliklari](http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari).
- Sharples, S., Vic, C., Graham, C. 1999. A Multiagent Architecture for Intelligent Building Sensing and Control, *Sensor Review*, 19 (2), s. 135-140.
- Topal, E., 2005. Yeraltı Sert Kaya Madenciliğinde Otomasyon ve Kiruna Madeni' ndeki Uygulaması, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongreni ve Fuarı*, s. 185-190.
- Toyama, K., Krumm, J., Brumitt, B., Meyers, B., 1999. Wallower: Principles and practice of background maintenance, *7th IEEE International Conference on Computer Vision*, Greece, s. 255-261.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), 2013. İş Kazaları ve İşe Bağlı Sağlık Problemleri Araştırma Sonuçları, 26 s.
- Vass, J., Palaniappan, K., Ahuang, X., 1998. Automatic Spatio-Temporal Video Sequence Segmentation, *Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing*, Chicago, s. 4-7.
- Yılmaz, C., Daldal, N., 2006. Pulse-DTMF Arama Tabanlı Bina Güvenlik Sistemi Tasarımı ve Uygulaması, *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (3), s. 423-428.

# Alkali Silis Reaksiyonun Oluşumu, Önemi ve Tespit Yöntemleri *Alkali Silica Reaction Formation, Importance and Detection Methods*

O. O. Varol

*Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Van*

M. Ayhan

*Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*

V. Oyan

*Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Van*

**ÖZET** Beton yapımında kullanılan agrega özelliklerine bağlı olarak, Alkali Karbonat Reaksiyonu ve Alkali Silis Reaksiyonu olmak üzere iki çeşit Alkali Agrega Reaktivitesi oluşmaktadır. Bu güne kadar yapılan çalışmalar, uygulamada Alkali silis reaksiyonunun çok daha yaygın görüldüğünü işaret etmektedir. Uzun süreli gözlemsel verilerin mevcut olmadığı durumlarda, kullanılacak agreganın alkali silis reaksiyonu gösterip göstermeyeceğini tespitine yönelik deneysel çalışmaların yapılması gereksinimi doğmaktadır.

Alkali silis reaksiyonun tespiti için günümüzde uluslararası alanda kabul görmüş tek bir deney yöntemi mevcut olmayıp, ülkelere göre farklılık arz etmektedir. Alkali silis reaksiyonun oranının belirlenmesi için uygun metot seçimi yapılırken, agreganın petrografik analizi ve kimyasal yapısı dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada, genel olarak betondaki alkali silis reaksiyonunun oluşum nedenleri, meydana getirdiği hasarlar ve alkali silis reaksiyonunun tespitine yönelik geliştirilen test yöntemleri ayrıntılı açıklanmıştır.

**ABSTRACT** Depending on the characteristics of aggregate used in concrete construction two types alkali aggregate reactivity is composed that alkali carbonate reaction and alkali silica reaction. Previous studied show that the alkali silica reaction is much more common in practice. In the absence of long term observational data, it is necessary to conduct experimental studies to determine whether the aggregate can be showed alkali silica reaction or not.

Currently, there is no single international test method for the detection of alkali silica reaction, which differs from country to country. The petrographic analysis and chemical structure of the aggregates should be taken into account when selecting the appropriate method for determining the ratio of alkali silica reaction.

In this study, generally the cause of formation alkali silica reaction in concrete, the damage caused to the formation and the test methods developed for determination of alkali silica reaction is explained in detail.



## 1 GİRİŞ

Beton genel tanımıyla çakıl, kum gibi agrega olarak nitelendirilen maddelerin bir puzolanik madde ve su ile birleştirilmesinden meydana gelen inşaat yapıtaşıdır. Yapılarda taşıyıcı eleman olarak kullanılan betonların yaratacağı sorunlar direkt olarak tüm yapıyı etkileyeceğinden betonda oluşabilecek sorunları daha ilk aşamada tespit etmek önemli bir unsurdur. Bunun içinde beton içerisinde var olan ve betonun temel yapısını oluşturan agreganın özelliklerini ve içyapısını tespit etmek en önemli unsurların başında gelmektedir. Yapısında reaktif silis bulunduran agregalar, betonda zamanla deformasyonların oluşmasına neden olmaktadır.

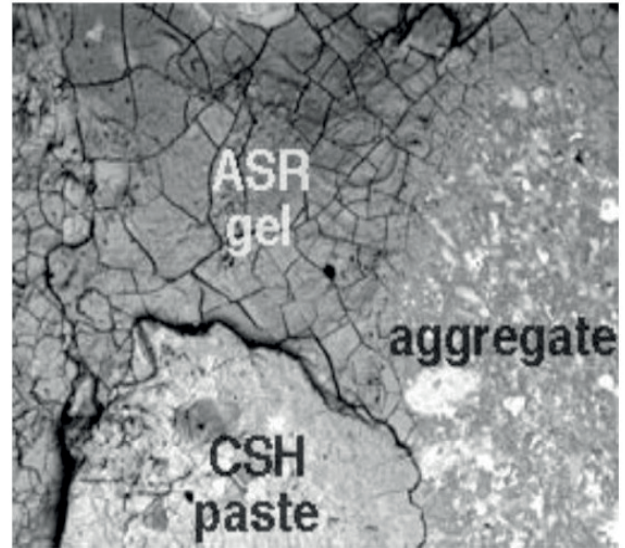
Bileşiminde belirli mineraller bulunduran agregalar, betonda oluşan alkali hidroksitlerle kimyasal bir reaksiyona girerler. Bu reaksiyon neticesinde betonda genleşme meydana gelir ve meydana gelen bu genleşme belirli bir sınır değeri aştığı zaman beton için bir tehlike oluşturur. Genel olarak alkali agrega reaksiyonları olarak nitelendirilen bu reaksiyonlar, alkali silis reaksiyonu ve alkali karbonat reaksiyonu olmak üzere iki şekilde ortaya çıkabilmektedir. Beton yapımında kullanılan agregaların bünyesinde reaktif silis varlığına daha çok rastlandığından alkali silis reaksiyonunun alkali karbonat reaksiyonuna kıyasla daha çok görüldüğü saptanmıştır (Arslan, 2001).

Alkali silis reaksiyonu, agregada var olan reaktif silis bileşenli ile çimentoda bulunan  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  alkalileri arasında oluşan kimyasal bir olaydır. Alkali silis reaksiyonunda yer alan reaksiyonlar hemen ortaya çıkmamakta beton yapımından çok sonraki zamanlarda ortaya çıkabilmektedir (Binici ve ark., 2009). Reaktif silis içeren agrega ile çimentodaki alkali hidroksitlerin çözünmesiyle betonun boşluk suyunda yer alan alkali hidroksitler jel yapısını meydana getirir ve betondaki nem etkisiyle bu jel genişir. Genleşen bu jel betonda şişmelerin meydana gelmesine neden olur ve şişme etkisiyle çekme gerilmeleri oluşmaya başlar. Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının %7'si ile %11'i arasında olduğundan, %0.04 - %0.05 gibi genleşme birim deformasyonu betonu çatlatmaya yeterli olacaktır (Aydın, 2012).

Betonda alkali silis reaksiyonun oluşabilmesi için üç koşul gereklidir. Bu koşullar; ortamla yeterli nem, agregada kritik seviyenin üzerinde bulunan reaktif silis ve

çimentodan gelen yüksek miktarda alkali hidroksittir (Gürkan, 2006). Alkali silis reaksiyonu reaktif agreganın su emme kapasitesine bağlı olarak hızlı veya yavaş gelişebilir. Yapılan araştırmalara göre, reaksiyon oluşumuna en çok etki eden mineraller; opal (Stanton, 1941), kalsedon ve volkan camı (Stanton, 1941; Rhodes, 1942), kripto kristalin kuvars (Stanton vd., 1942), tridimit (Hornibrook vd., 1943), kristobalit (Landgren ve Sweet, 1952) ile basınç etkisinde kalmış kuvars (Gogte, 1973) olduğu saptanmıştır (Wakizaka, 2000).

Alkali silis reaksiyonuna ilk olarak 1920 – 1930 yıllarında ABD'nin Kaliforniya eyaletinde bulunan betonarme yapılarda nedeni belli olmayan çatlak oluşumlarına bağlı yıkımların rapor edilmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu raporda kullanılan malzemelerin standartlara uygun olmasına rağmen yapım yılını takip eden birkaç yıl içerisinde çatlaklar meydana geldiği açıklanmıştır. Ayrıca genellikle harita tipi çatlaklar şeklinde görülen bu oluşumlardan jel çıkışı, betonda patlamalar gibi belirtilerinde olduğu saptanmıştır (İpek ve ark., 2009). 1942 yılında Stanton tarafından ilk defa bu oluşum alkali silis reaksiyonu olarak adlandırılmıştır (Binal, 2015). Şekil 1'de alkali silis reaksiyonu sonucu meydana gelen harita tipi çatlaklara bir örnek gösterilmiştir.

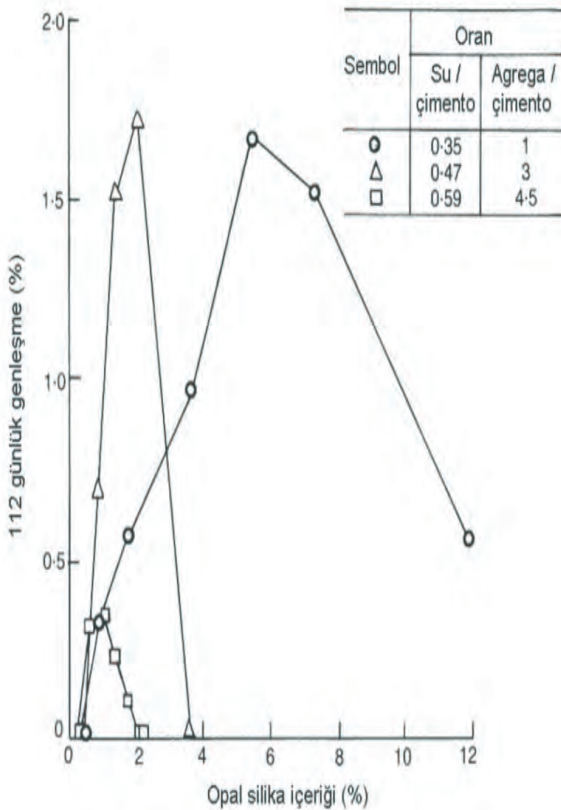


Şekil 1. Alkali silis reaksiyonu sonucu meydana gelen harita tipi çatlak (Dinçdemir, 2015).

## 2 ALKALİ SİLİS REAKSİYONUNUN OLUŞUMUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

### 2.1 Karışım Oranlarının Etkisi

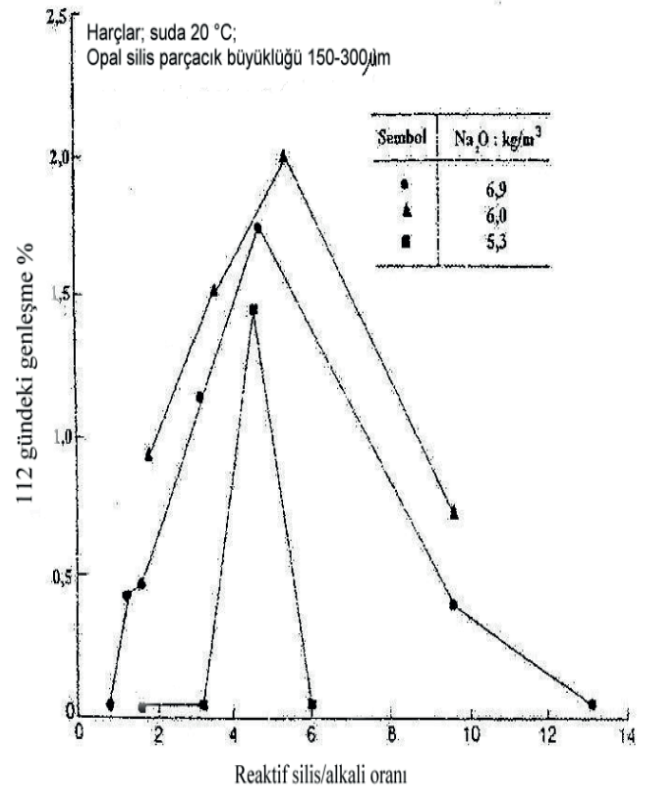
Yapısında reaktif agrega bulduran betonun karışım oranlarını değiştirerek betonda meydana gelebilecek alkali silis reaksiyonunu indirgemek mümkündür. Düşük su/çimento oranları, artan çimento dozajı ve mineral katkıları gibi önlemler alınarak geçirimsizliğin azalması sağlanabilir. Bu yöntem ile dışarıdan betonun içine alkali ve su girişi,  $(OH)^-$  iyonlarının beton içerisindeki hareketinin önüne geçilerek alkali silis reaksiyonu engellenmiş olur (Baradan ve ark., 2002, Hobbs, 1998). Şekil 2’de farklı oranlarda kullanılan su/çimento ve agrega/çimento oranlarının 112 günlük genişleme sonucunda ortaya çıkan değerleri gösterilmiştir. Genleşmenin maksimum düzeye ulaştığı noktalar reaktif silis/agrega oranının 3.5 ile 5.5 olduğu durumlardır.



Şekil 2. Reaktif Silis/Agrega Karışımının Genleşme Üzerine Olan Etkisi (Hobbs, 1998).

### 2.2 Alkali İçeriğinin Etkisi

Betonda bağlayıcı olarak kullanılan çimentoda bulunan alkali içeriği, betonun hidroksil iyon konsantrasyonunun, betonun alkali içeriğinin, reaktif silis/alkali oranının değişmesinde etkilidir. Şekil 3’de suda bekletilmiş harç çubuklarının alkali içeriğinin genişlemeye olan etkisi gösterilmiştir. Kullanılan harç örneklerinin çimento içeriği  $670 \text{ kg/m}^3$ , su/çimento oranı 0.40, agrega/çimento oranı 2’dir. Çimentonun alkali miktarı arttıkça pesimum davranışı genişler, en yüksek genişleme ise reaktif silis/alkali agrega yaklaşık 5 iken oluşmaktadır (Bağdiken, 2013).



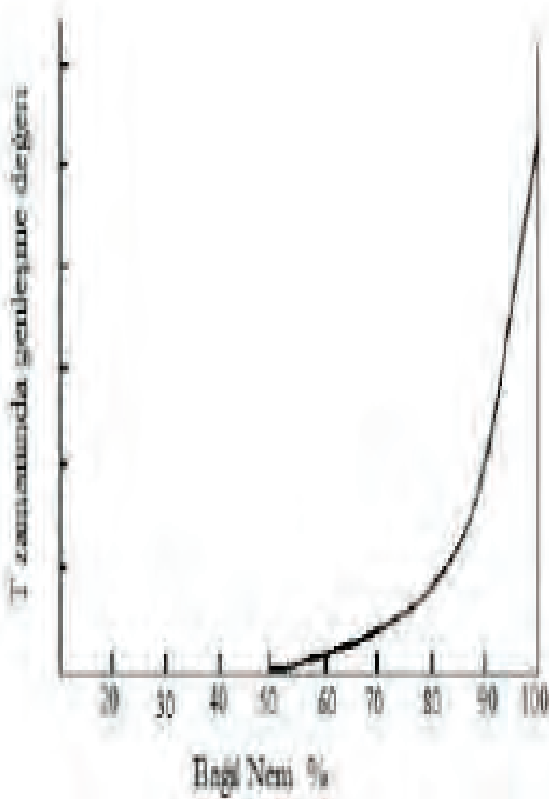
Şekil 3. Alkali İçeriğinin Genleşmeye olan Etkisi (Bağdiken, 2013).

### 2.3 Nem ve Sıcaklık Etkisi

Sıcak iklim koşullarındaki yapılar soğuk iklimdeki yapılara nazaran alkali silis reaksiyonuna daha duyarlıdır. Çünkü sıcaklık ve nem reaksiyon hızını arttırmaktadır. Reaksiyonun başlaması ve devam etmesi için ortamda yeterli miktarda suya ihtiyaç vardır. Su, silisin çözünmesine, alkali iyonlarının yayılmasına neden olmaktadır. Meydana gelen bu yayılma reaksiyonun olduğu bölgelerde zamanla alkali silis jelinin oluşmasına ve reaksiyon

devam ettiği sürece bu jelin büyümesine sebep olacaktır. Araştırmacıların yaptığı çalışmalara göre alkali silis reaksiyonunun oluşabilmesi için ortamda %80 bağıl nemin bulunması gereklidir (Gillot ve Rogers, 1994).

Nemin beton içerisindeki dolaşımının engellenmesi düşük su/çimento kullanımı ve mineral katkı kullanımı sonucu geçirimsizliğin azaltılmasıyla mümkün olabilir (Andiç, 2002). Şekil 4'te alkali silis reaksiyonu etkisiyle oluşan genleşmenin ortamın bağıl nemine göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4. Genleşme ve bağıl nem arasındaki ilişki (Swamy, 1992).

## 2.4 Kullanılan Reaktif Agreganın Cinsinin ve Boyutunun Etkisi

Doğada bulunan agregaların birçoğu reaktif silis içermektedir. Ancak reaktif silis her agregaya için alkali silis reaksiyonuna yol açar tespitini yapmak hatalı olacaktır. Reaktif silis içeren agreganın alkali silis reaksiyonuna neden olması için bileşiminde kütlece %2'den fazla silis bulundurmalıdır (Crucq, 2005). Reaktif silisler farklı farklı doku ve kristal yapıya sahip olabilir. Bunun nedeni

ise kayaların farklı soğuma hızlarında oluşmalarıdır. Agregada bulunan silis mineralleri kayaların oluşum sürecinde soğuma hızına bağlı olarak amorf yapıdan kriptokristal, mikro kristal ve kristal yapıya kadar geniş bir yelpazeye yayılırlar. Bazı durumlarda kuvars kristalleri oluşurken içsel gerilmeler ortaya çıkar. Bu tip kuvars mineralleri içeren agregaların reaktif olduğu söylenebilir (Ramyar ve ark., 2002). Reaktivitede azalmaya göre kayaları ve silis minerallerini şu şekilde sınıflandırabiliriz;

### Reaktivitedeki azalmaya göre kayalar;

- Volkanik camlar
- Metakuvarsit metamorfize kumtaşları
- Granit gnayslar
- Deforme olmuş granit gnayslar
- Diğer silis içeren metamorfik kayalar
- Silis ve mika içeren metamorfik kayalar
- İyi kristalize olmuş volkanik kayalar
- Pegmatitik volkanik kayalar
- Silis içermeyen kayalar

### Reaktivitedeki azalmaya göre silis mineralleri;

- Amorf silis
- Opal
- Stabil olmayan kristalin silis
- Çört
- Kalsedon
- Silisin diğer kriptokristalin formları
- Metamorfik olarak ayrılmış ve bozulmuş kuvars
- Deforme olmuş kuvars
- Yarı kristallenmiş kuvars
- Saf kuvars olarak sınıflandırılır (Kurt, 2009).

Reaktif silis içeren agreganın tane boyutu küçüldükçe alkali silis reaksiyonu genleşmeleri artmaktadır. 0.15-0.10 mm arası tane iriliğinde olan agregaların alkali silis reaksiyonu genleşmeleri tane boyutu küçüldükçe genleşmelerin arttığı görülmüştür. Agreganın tane iriliği büyüdükçe maksimum genleşmeyi veren çimento/agrega oranı azalmaktadır. Agreganın boyutu küçüldükçe alkali silis reaksiyonu genleşmelerinin artmasının nedeni agreganın yüzey alanının büyümesinden kaynaklanmaktadır. İri agregalarda reaksiyon daha yavaş ilerlemektedir. Tek boyutlu agregaya gradasyonu kullanımı, alkali silis reaksiyonu genleşmelerinin azaltılması açısından daha avantajlıdır (Kasem, 2009).

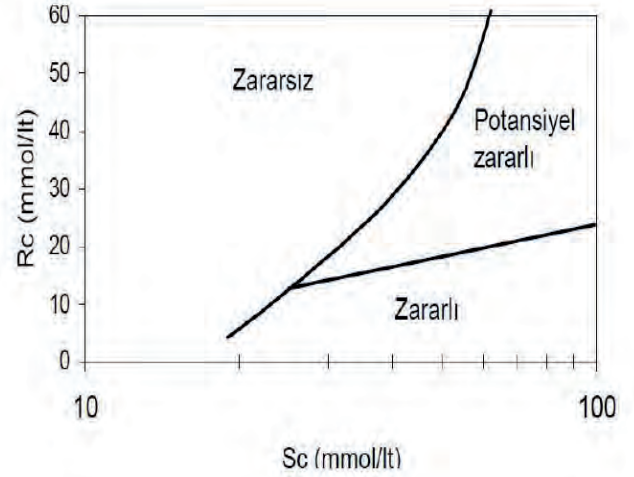
### 3 ALKALİ SİLİS REAKSYONUNUN TESPİTİNE YÖNELİK GELİŞTİRELEN YÖNTEMLER

#### 3.1 Agregaların Petrografik Analizi

ASTM C 295 (1994) standardına göre yapılan agregaların petrografik analizinin amacı, kayacın içerisinde barındırdığı minerallerin cins ve yüzdelere göre kayacın adlandırılmasıdır. Agregalardan elde edilen ince kesitlerin optik mikroskop yardımıyla incelenmesi neticesinde içeriklerinde bulunan potansiyel reaktif mineral fazları tespit etmek mümkündür. X ışını yayılımı ve tarayıcı elektron mikroskobu gibi yöntemler reaktif silisin belirlenmesinde faydalanılan yöntemlerdir. Agregaların yanı sıra, zarar görmüş beton numunelerden alınan ince kesitler üzerindeki çalışmalar neticesinde meydana gelen hasarın alkali silis reaksiyonu sonucu olup olmadığını saptamak mümkündür. Alkali silis reaksiyonunun tespitine yönelik diğer testleri yapmadan önce petrografik analiz yapılması hem zaman kazanmak açısından hem de uygulanacak metodun seçimine yönelik kolaylık sağlamaktadır.

#### 3.2 Kimyasal Metot

ASTM C 289 (1994) standardına göre geliştirilen bu yöntem çabuk ve açık sonuçlar verdiği için daha sık kullanılmaktadır. Agregayı temsil etmesi bakımından, agregadan numune alma yöntemleriyle elde edilen 25 gr 150-300 mm kırılmış agrega numunesi 25 ml, 1 M NaOH çözeltisinde 80 °C 24 saat boyunca bekletilir. 24 saatin sonunda filtre edilir ve asitte titre yöntemiyle çözülmüş silis ile alkalinitedeki azalma tayin edilir. Deney üç döngü halinde yapılır. Üç döngü tamamlandıktan sonra sonuçlar Şekil 5'te verilen alkalinitedeki azalma-çözülmüş silis grafiğinde işaretlenerek kontrol edilir. Eğride var olan Rc alkalinitedeki azalmayı, Sc ise çözülmüş silisi ifade etmektedir. Eğer deneyin tüm sonuçları eğrinin solunda kalıyorsa agrega zararsız olarak kabul edilebilir.



Şekil 5. Alkanitedeki azalma-çözülmüş silis grafiği

#### 3.3 Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyi

ASTM C 1260 (1994) standardına göre yapılan bu deney, alkali reaktivitesi saptanacak olan agregalar ile yapılan harç çubuklarının alkali oranı yüksek çözelti içerisinde, yüksek sıcaklıkta ve boyca genleşmelerinin ölçülmesine dayanan bir test yöntemidir. Bu yöntemde kür şartlarını ağırlaştırarak reaksiyon hızlandırılmakta ve agregaların reaktivitesinin 16 gün içerisinde tespitine imkan sağlamaktadır.

Standartta belirtilen gradasyondaki agrega, kütlece çimentonun 2.25 katı kadar kullanılarak su/çimento oranı 0.47 olan karışımlar hazırlanır. 25x25x285 mm boyutlarındaki kalıplara dökülen numuneler 24 saat boyunca kalıplarda bekletilir. Daha sonra kalıplardan alınan numunelerin boy ölçümleri yapılır. Kalıp sökümünden sonra 24 saat süre boyunca 80 °C su tankında bekletilen harç çubuğu numuneleri, su tankından çıkarıldıktan sonra tekrar boy ölçümleri alınır. Su tankından çıkarılan harç çubuğu numuneleri 3, 7, 14 gün süre boyunca hazırlanan 1 N 80 °C olan NaOH tankında bekletilerek periyodik boy ölçümleri yapılır. Deney sonuçlarına göre 16 günün sonundaki genleşmeler;

- %0.10 değerinin altında ise agregalar alkali silis reaksiyonu açısından zararsız davranış sergilemektedir.

- %0.20 değerinin üzerinde ise agregalar alkali silis reaksiyonu açısından zararlı davranış sergilemektedir.

- %0.10 - %0.20 arasında ise agregalar alkali silis reaksiyonu açısından hem zararlı hem de zararsız davranış gösterebilirler. Bunun gibi durumlarda ölçümlerin 28 güne kadar uzatılması önerilmektedir.

### 3.4 Beton Prizma Metodu

ASTM C 1293 (1994) standardına göre yapılan beton prizma metodu, 75x75x285 mm boyutlarında hazırlanan harç çubuklarının zamana bağlı olarak boyca genleşme miktarının ölçülmesi ve çimento-agrega karışımının alkali kaynaklı genleşmelere duyarlılığı belirlenir. Bu deney yönteminde hazırlanan harçlar üç adet 75x75x285 mm boyutlarındaki harç çubuklarına döküldükten sonra harç çubukları %90 bağıl neme sahip 23 °C kür odasında 24 saat bekletilir. Bu işlemin ardından harç çubuklarının boyları ölçülerek alt tabakasında su haznesi bulunan 38 °C sıcaklıkta, nemli ortamda standartta belirtilen şekilde saklanır. Genleşme üst limitleri üç numunenin ortalaması alınarak, 1 yıllık periyot sonunda standartta %0.004 olarak belirlenmiştir.

Bu metod direkt olarak beton üzerine uygulandığından gerçeğe en yakın sonuçları vermektedir. Genellikle diğer yöntemler yetersiz kaldığı durumlarda beton prizma metodu kullanılmaktadır. Ancak bu metodun en büyük dezavantajı uzun süreli bir yöntem olmasıdır (Kurt, 2009).

### 3.5 Mineral Katkıların veya Yüksek Fırın Cürufunun Etkilerini Ölçen Standart Deney Metodu

ASTM C 441 (2002) standardına göre yapılan bu yöntem, mineral katkıların veya yüksek fırın cürufunun agregalarla çimento alkalileri arasındaki reaksiyon sonucu ortaya çıkabilecek zararlı genleşmeleri engellemedeki etkinliğini inceler. Pireks camı reaktif agregası ile mineral katkı veya cüruf içeren çimento karışımlarını kullanarak hazırlanan harç çubuklarının standartta belirtilen kür koşullarında ve belirli periyotlarda ölçülen genleşmeleri değerlendirilir. Deney için önce 400 gr yüksek alkaline çimento ile belirli gradasyondaki 900 gr pireks camı agregası kullanılarak kontrol karışımı hazırlanır. Bu karışımın 14 günlük minimum genleşmesi %0.250 olmalıdır. Cüruf dışındaki mineral katkılarda 300 gr yüksek alkaline çimento ile mutlak hacmi 100 gr çimentoya eşit miktarda mineral katkı kullanılır. Kullanılan katkı cüruf ise mutlak hacmi 200 gr çimentoya eşit miktarda kullanılır. Numuneler belirli gradasyondaki agregalar kullanılarak, agregalar/çimento oranı 2.25 olacak şekilde 25x25x285 mm boyutlarında harç çubukları kullanılarak hazırlanır. Hazırlanan bu harç

çubukları 38 °C sıcaklıkta ve kenarlarında ortamı nemli tutan fitil görevi gören kurutma kağıdının bulunduğu kapalı kaplarda tutulur ve boyca periyodik olarak boyca genleşme değerleri ölçülür.

Deney neticesinde, kontrol numunesi ile katkı içeren numuneler arasındaki genleşme miktarındaki azalma değeri yüzde cinsinden hesaplanır. Standartta göre, genleşme miktarındaki azalma değerinin %75 yada daha fazla olması halinde kullanılan mineral katkı uygundur. Belirli bir çimento-agrega kombinasyonunun kullanılması halinde ise 14 günlük maksimum genleşme değeri %0.02 olarak belirlenmiştir.

Bu deney metodunun en çok eleştirilen kısmı ise; pireks camı gibi çok yüksek reaktivitedeki bir malzemenin doğal agregalar gibi davranmadığı ve bu nedenle elde edilen sonuçların gerçeği tam olarak yansıtmayacağı şeklindedir. Ayrıca pireks camının değişken kompozisyona sahip, ortama alkali veren bir malzeme olması sebebiyle alkali katkısının deney sonuçlarını etkileyeceği öne sürülmektedir (Gün, 2007).

### 3.6 Harç Çubuğu Metodu

ASTM C 227 (2003) standardına göre 25x25x285 mm boyutlarında hazırlanan harç çubuklarının standartta belirtilen süre sonundaki boyca değişimlerini ölçülerek çimento-agrega karışımlarının alkali kökenli genleşmelere açık olup olmadığını saptamak için kullanılan bir yöntemdir. Hazırlanan harç çubukları ASTM C 1260 (1994) belirtildiği gibi hazırlanmaktadır. Deney için en az dört adet harç çubuğu hazırlanır. Kür koşulları ise ASTM C 441 (2002) standardında belirtildiği gibidir.

Dökülen harç çubuklarının boy ölçümleri alınmadan 16 saat önce saklama kapları kapalı bir şekilde 23 °C sıcaklıkta kür odasına bırakılarak soğuması için beklenir. Bu işlemden sonra dijital komperatör yardımıyla harç çubuklarının ilk olarak 14. gün, ardından 1, 2, 3, 4, 9 ve 12 ay sonunda boy değişimleri ölçülür. ASTM C 227 (2003) standardına göre 12. ay sonundaki maksimum genleşme sınırı %0.10 sınırını aşması durumunda “zararlı agregalar” sınıfına girmektedir.

## 4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Alkali silis reaksiyonunu önlemenin en etkili yolu beton dökülmeden önce gerekli tedbirleri almaktır. Bunun için puzolan malzemenin ve agregaların dikkatli bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Özellikle agreganın petrografik analizi yapılarak agreganın içerdiği minerallerin yüzdelere bakılmalıdır. Alkali silis reaksiyonunun önüne geçebilmek için agrega seçimi yaparken dikkat edilmesi gereken birkaç hususu şu şekilde sıralayabiliriz;

- Reaktif silis içermeyen agregalar tercih edilmeli,
- Dışarıdan betona nüfuz edebilecek alkali içeriğini sınırlamak,
- Ortamın nemini ve sıcaklığını kontrol altına almak,
- Mineral katkı maddesi kullanmak gibi tedbirler alınarak alkali silis reaksiyonu oluşumunun önüne geçmek mümkündür.

Alkali agrega reaksiyonu tespiti için birçok standart geliştirilmiştir. Her deney yönteminin kendine has bir şekilde avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Eğer alkali silis reaksiyonu oluşumu şüphesi varsa ve sahada uzun süreli gözlem yapılamayacak durum söz konusu ise en uygun deney yöntemi seçilerek alkali silis reaksiyonunun oluşumu tespit edilecek bu reaksiyon yapılacak olan yapının servis ömrünün uzun süreli olmasına ve çatlaklardan doğabilecek zararların önlenmesinde etkili bir rol oynayacaktır.

## KAYNAKLAR

Andiç, Ö, 2012. Alkali Silika Reaksiyonunun Mineral ve Kimyasal Katkılar Kullanılarak Kontrol Altına Alınması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, s.121.

Arslan, M, 2001. Beton (Dökümü, Kalıpları, Kusurları, Dayanıklılığı), Atlas Yayınevi, İstanbul 216 s.

ASTM C 1260, 1994. Standart Test Method for Potantial Reactivity of Aggregates (Mortar Bar Method), Annual Book of ASTM Standarts, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, USA, American Society for Testing and Materials.

ASTM C 1293, 1994. Standart Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali Silica Reaction, Annual Book of ASTM Standarts, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, USA, American Society for Testing and Materials.

ASTM C 227, 2003. Standart Test Method for Potantial Alkali Reactivity of Cement Aggregate (Mortar Bar Method), Annual Book of ASTM Standarts, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, USA, American Society for Testing and Materials.

ASTM C 289, 1994. Standart Test Method for Potential Alkali Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method), Annual Book of ASTM Standarts, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, USA, American Society for Testing and Materials.

ASTM C 295, 1994. Standart Test Method for Petrografic Examination of Aggregates for Concrete, Annual Book of ASTM Standarts, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, USA, American Society for Testing and Materials.

ASTM C 441, 2002. Mineral Admixture Effectiveness in Preventing Excessive Expansion Due to Alkali Aggregate Reaction, Annual Book of ASTM Standarts, Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia, USA, American Society for Testing and Materials.

Aydın, E, G, 2012. Çeşitli Mineral Katkıların Betonda Alkali Silika Reaksiyonuna Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s.84.

Bağdiken, M, Y, 2013. Betondaki Alkali Silika Reaksiyonunu Önlemek İçin Kireçtaşı Tozu ve Uçucu Kül İçeren İkili ve Üçlü Karışımların Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, s.62.

Baradan, B, Yazıcı, H, Ün, H, 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 282 s.

Binal, A, 2015. The Pessimum Ratio and Aggregate Size Effects on Alkali Silica Reaction, Procedia Earth and Planetary Science, 15, s.725-731.

Binici, H, Görür, E, B, Durgun, M, Y, 2009. Afşin-Elbistan Uçucu Külü ve Tekstil Fabrikaları Atık Küllerinin Betonda Puzolanik Katkı Olarak Kullanılması, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12, 1, s.10-19.

Crucq, P, 2005. Development of a Method to Measure the Mechanical Behavior of ASR Gels, Part I: Literature Study Alkali silica Reaction, Causes, Effects and Prevention, Microlab Civil Engineering and Geosciences, s.55.

Dinçdemir, İ, 2015. Alkali Silika Reaksiyonunun İyileştirilmesinde Mineral Katkı Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, s.63.

Gillott, J, E, Rogers, C, A, 1994. Alkali Aggregate Reaction and Internal Release of Alkali, Magazine of Concrete Research, 46, 167, s.99-102.

- Gün, M, 2007. Adapazarı Bölgesindeki Agregaların Alkali Agregasyon Reaksiyonu Bakımından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, s.92.
- Gürkan, A, 2006. Pomza ve Zeolitin Alkali Silika Reaksiyonu Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, s.88.
- Hobbs, D, W, 1982. Influence of Pulverised Fuel-Ash and Granulated Blast Furnace Slag Upon Expansion Caused by Alkali Silica Reaction, Magazine of Concrete Research, 34, s.83-94.
- İpek, M, Yılmaz, K, Sert, G, 2009. Sakarya Bölgesinde Üretilen Kırmataş Agregalarının Alkali Agregasyonunun İncelenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- Kasem, K, S, 2009. Çimento Alkalinitesinin Alkali Silis Reaksiyonuna Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, s.71.
- Kurt, D, 2009. Alkali Silis Reaksiyonunu Önlemek İçin Betonda Puzolanik ve Kimyasal Katkı Kullanımının Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, s.104.
- Ramyar, K, Dönmez, H, Andiç, Ö, 2002. Alkali Silis Reaksiyonunun Mineral ve Kimyasal Katkıları Yardımı ile Kontrol Altına Alınması, TÇMB Çimento Endüstrisi-Üniversite İşbirliği Araştırma Projesi Raporları, Rapor No:9, Ege Üniversitesi, İzmir, s.3-15.
- Swamy, R, N, 1992. The Alkali Silica Reaction in Concrete, New York, s.336.
- Wakizaka, Y, 2000. Alkali Silica Reaktivite of Japanese Rock, Engineering Geology, 56, (1-2), s.211-221.

# Tuğla Üretiminde Alternatif Bir Hammadde: Şlam Atığı

## *An Alternative Raw Material in Brick Production: Coal Slurry Waste*

M. Ziypak, Z. Olgun

*TKİ Genel Müdürlüğü ARGE Dairesi Başkanlığı, Ankara*

A. Şahin, Y. Kılıç, M. Kara

*TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü, Kocaeli*

**ÖZET** Bu çalışmada, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Ömerler Lavvar Tesislerinden çıkan ve atık barajında depolanan şlam atıklarının tuğla üretiminde hammadde olarak değerlendirilmesi kriterleri araştırılmıştır. Laboratuvar ölçekli çalışmada şlam atığının tuğla kiline optimum ikame oranı ve pişirim sıcaklığı belirlendikten sonra elde edilen bulguları doğrulamak amacıyla Kütahya'da faaliyet gösteren AKDEMİR Tuğla Fabrikası'nda ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranında şlam atığı ikamesi ile 850-900°C'de tuğla üretimi gerçekleştirilmiştir. Şlam atığı katkılı tuğla numunelerine boyut ve ağırlık ölçümü, pişme küçülmesi, pişme sonrası ağırlık kaybı, kuru birim hacim kütlesi, basınç dayanımı, su emme, porozite, radyoaktivite ve renk ölçümü testleri yapılmış, elde edilen sonuçlar orijinal tuğla numuneleriyle karşılaştırılmıştır. Endüstriyel ölçekli üretilen numunelerin analiz sonuçları dikkate alındığında, kömür yıkama prosesi sonucu oluşan şlam atıklarının ağırlıkça % 30 oranında tuğla kiline ikame edilerek 850-900°C aralığındaki sıcaklıklarda pişirilmesiyle standardın belirttiği özellikte tuğla üretilebileceği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Atık, kömür, şlam atığı, tuğla

**ABSTRACT** In this study, utilization criteria of the coal slurry wastes, which are stored at Turkish Coal Operations Omerler Slurry Plant, was investigated at brick production as raw material. At the laboratory scaled study, optimum substitution ratio of coal slurry wastes into brick clay and sintering temperature was determined. To confirm the obtained results, coal slurry wastes were substituted with a ratio of 10, 20 and 30 wt. % into brick clay and brick production was conducted at 850-900°C in AKDEMİR Brick Factory, Kütahya. Dimension and weight measuring, sintering shrinking, weight loss, dry bulk density, compression strength, water absorption, porosity, radioactivity and colorimetric analysis were made on coal slurry substituted brick samples and obtained results were compared with original brick samples. As a result, coal slurry wastes obtained from coal washing can be substituted into brick clay with a ratio of 30 wt. % at 850-900°C.

**Keywords:** Brick, coal, coal slurry, waste



## 1 GİRİŞ

Atık malzemeler çeşitli endüstriyel işlemler sonucunda elde edilen ve herhangi bir ekonomik değeri olmayan malzemelerdir. Atık bir malzemenin bertaraf edilmesi ilave bir maliyet gerektirmekte, insan sağlığına ve çevreye zarar vermektedir.

Kömür yıkama tesisinde (lavvar) kömür yıkandıktan sonra geriye kalan kil içerikli atığa “şlam atığı” denilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Ömerler Lavvar tesislerinde oluşan şlam atıklarının laboratuvar ve endüstriyel ölçekli tuğla üretiminde alternatif hammadde olarak değerlendirilmesi araştırılmıştır. Laboratuvar ölçekli deneysel çalışmalarda, orijinal tuğla kiline çeşitli oranlarda şlam atığı ikame edilerek farklı sıcaklıklarda sinterleme çalışmaları yapılmış ve optimum reçete belirlenmiştir. Bu veriler kullanılarak AKDEMİR Tuğla Fabrikası’nda endüstriyel ölçekli tuğla üretim denemeleri gerçekleştirilmiştir.

## 2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kömür lavvarı şlam atıklarının farklı sektörlerde potansiyel bir hammadde veya katkı maddesi olarak değerlendirilmesine yönelik çok sayıda araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların ortak derlenmesi sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

Preobrazhenskii ve Voznyi (1976) tarafından yapılan çalışmada, şlam atıklarında bulunan kömür fraksiyonlarının tuğla üretiminde değerlendirilmesi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, şlam atıkları tuğla üretiminde ısı kaynağı ve yanıcı katkı maddesi olarak kullanılmıştır. 1971 ve

1975 yılları arasında çeşitli üretim tesislerinde değerlendirilmek üzere kömür üreticileri (Zaporozhe, Yasinovka ve Donetsk kömür fabrikaları) tarafından tonlarca şlam atığı dağıtımının yapıldığı belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda, fırın kapasitesine bağlı olarak elde edilen tuğla miktarındaki artışla birlikte yakıt tüketiminde önemli miktarda azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

Burmistrov (1979) tarafından yapılan araştırmada, kömür yıkama atıklarının tuğla üretiminde ve drenaj borularında hammadde veya katkı malzemesi olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir. Katkı malzemesi olarak kömür yıkama atığının kullanılmasıyla kil ve yakıt tüketiminde azalma meydana geldiği, daha düşük pişirme sıcaklıklarında üretim yapılabileceği ve elde edilen ürünlerin mukavemet ve donma dayanım değerlerini olumlu etkilediği gözlenmiştir.

Geleneksel tuğla üretiminde kömür lavvar tesisi atıklarının % 20 ikame oranına kadar katkı maddesi olarak yaygın bir şekilde kullanıldığı belirtilmektedir. Shpirt (1980) tarafından yapılan çalışmada geliştirilen bir teknoloji sayesinde ise seramik ürünlerin üretiminde % 70’ten % 100’e kadar lavvar atığı ikame edilebildiği belirtilmiştir. Yılda milyonlarca ton civarında oluşan lavvar atıklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde, yapı seramik ürünleri için hammadde olarak kullanımının mümkün olduğu bulunmuştur. Lavvar atıkları kullanılarak yapı seramikleri üretilmesiyle % 75-80 oranında yakıt tasarrufu ve % 70-100 oranında hammadde tasarrufu sağlandığı

vurgulanmış, bu atıkların çeşitli ulusal ekonomik kullanım alanlarında ikincil organik/inorganik malzeme türü olarak ele alınabileceği tavsiye edilmiştir.

Seramik ve yapı malzemesi üretim faaliyetlerinin hızla artması ve tuğla üretiminde kullanılan hammaddelerin tükenmeye başlaması nedeniyle ham seramiklerin üretilmesinde kömür madeni atıklarının kullanılması önem kazanmıştır. Burmistrov ve Petrova (1981) tarafından yapılan çalışmalarda lavvar atıklarının seramik duvar ürünlerinde hammadde olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Montgomery (1991) tarafından yapılan araştırmada kömür şlamı atıklarının tuğla üretiminde hammadde olarak değerlendirilmesinden bahsedilmiştir. “Güney Bulli Kömür Ocağı”ndan atılan kaba kömür atıkları kullanılarak Boral Tuğlaları Limited Şirketi’nin “Woonona ve Prospects Tesisi”nde tuğla üretimi denemeleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda iki reçete kullanılmış olup birinci reçetede % 33 oranında kömür atığı ve % 67 oranında tuğla kili (Badgery Creek kili) kullanılırken diğer reçetede % 100 oranında kömür atığı kullanılarak tuğla üretimi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar standart tuğlalarla karşılaştırılmıştır. Yapılan testler sonucunda, standart tuğlaların ve % 33 oranında kömür atığı ikameli tuğlaların renkleri ve fiziksel özellikleri birbirine benzer bulunmuştur. % 100 kömür atığı ile üretilen tuğlalarda ise yetersiz pişme nedeniyle iç yüzeyinde çok koyu, dış yüzeyinde çok daha açık bir renk görülmüştür. % 33 oranında atık ikameli tuğlaların karakteristik eğme dayanımı 3,9 MPa bulunurken, bu değer standart tuğlalarda 2,9 MPa ve % 100 atık kullanılarak üretilen tuğlalarda ise 1,9 MPa olarak ölçülmüştür.

Standart tuğla ve % 33 atık ikameli tuğlaların basma mukavemetleri 28,1 MPa bulunurken, % 100 atık kullanılarak üretilen tuğlalarda bu değer 12,9 MPa olmak üzere çok daha düşük bulunmuştur. Mineralojik analiz sonucuna göre tüm tuğlalarda benzer şekilde kuartz, müllit ve hematit mineralleri bulunmuştur. Tüm tuğlalarda tanımlanamayan ve düzensiz şekillerde poroziteler meydana gelirken, % 100 atık ikameli tuğlalarda daha kaba ve büyük poroziteler görülmüştür. Tüm tuğla çeşitlerinde meydana gelen bu davranışın sebebinin şist ve kömür tanelerinde görülen zayıf bağlardan kaynaklandığı belirtilmiştir.

Dondi ve Marsigli (1997) tarafından yapılan çalışmada, kömür madenciliği ve arıtma işlemlerinden elde edilen atıklar kullanılarak üretilmiş olan tuğlaların mekanik mukavemetinde azalma olduğu gözlenmiştir. Ağırlıkça % 6-20 arasında değişen kömür maden atıkları kullanılarak 850°C’de pişirilen tuğla numunelerinde 0,5 MPa kuru basma mukavemeti, % 4-5 kuruma küçülmesi, % 2-14 oranında su emme ve 3-4 MPa (pişirilmiş) basma mukavemeti elde edilmiştir.

Kömür atıklarının tuğla ve seramik üretiminde kullanılmasına yönelik Siefke (1997) tarafından yapılan çalışmada, çoğunlukla kil, şeyl ve karbon içeren kömür atıklarının yalıtım ve yüksek sıcaklık tuğlaların üretimine uygun olduğundan bahsedilmiştir. Oruç (2006) tarafından yapılan çalışmada, GLİ Tunçbilek Kömür Hazırlama Tesisi’nde tikiner tankına gönderilen şlam atıkları zenginleştirme işlemleri sonucu hidrosiklon üst akımından elde edilen “atık kil” tuğla üretiminde hammadde olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda ana hammadde olarak Afyon-Çobanlar bölgesi kili

kullanılmış ve 3 farklı reçete hazırlanmıştır: A Serisi (% 50 Kil + % 50 Orijinal atık), B Serisi (% 50 Kil + % 50 Atık kil) ve C Serisi (% 75 Kil + % 25 Atık kil). Hazırlanan karışımlar 3 cm çapında ve 5 cm boyunda silindirik kalıplar kullanılarak 80 kg/cm<sup>2</sup> basınç altında preslenmiştir. Elde edilen numuneler oda sıcaklığında 15 gün dinlendirilmiş, daha sonra 105°C sıcaklıkta 24 saat boyunca etüvde kurutulmuştur. Kurutulan numuneler 850, 950 ve 1050°C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta 1 saat boyunca sinterlenmiştir. Numunelere yapılan testler sonucunda, sinterleme sıcaklığındaki artışın su emme değerlerinde azalmaya sebep olduğu, 850°C'deki en yüksek su emme değerinin A serisinde (% 38,94), daha sonra B serisinde (% 28,13) ve en düşük su emme değerinin ise C serisinde (% 20,48) elde edildiği görülmüştür. Sinter sıcaklığındaki değişim basınç dayanımlarında belirgin bir farklılığa yol açmamıştır. 850°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerde elde edilen en yüksek basınç dayanımı 72,81 kg/cm<sup>2</sup> değeriyle B serisinde, 1050°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerdeki en yüksek basınç dayanımı ise 72,65 kg/cm<sup>2</sup> ile C serisinde ölçülmüştür. Ancak, orijinal tuğla numuneleriyle karşılaştırıldığında atık kil ilavesiyle basınç dayanımında düşüş meydana geldiği görülmüştür. Bunun yanında, atık kil içeriğinde bulunan az miktarda kömürün sinterleme esnasında yanarak bünyeden uzaklaşmasından dolayı, atık kil ikamesinin artışıyla tuğla numunelerindeki pişme küçülmesi değerleri de artmıştır. Çalışmanın sonucunda, şlam atıklarının zenginleştirilmesi sonucu elde edilen atık killerin tuğla üretiminde tek başına

hammadde olarak kullanımının yeterli olmadığı, ancak düşük oranlarda katkı olarak ikame edilebileceği belirlenmiştir.

Sabah (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, şlam atıkları içeriğindeki killerin tuğla üretiminde hammadde olarak kullanımı incelenmiştir. Yapılan çalışmada, GLİ Tunçbilek Kömür Hazırlama Tesisi'nin zenginleştirme işlemleri sonucunda kil mineralleri bakımından zengin olan şlam atıkları tuğla üretiminde ilave hammadde olarak kullanılmıştır. Şlam atığının orijinal tuğla kiline ağırlıkça % 0; 2,5; 5; 7,5; 10; 15 ve 50 oranlarında ikame edilmesiyle elde edilen kompozisyonlarla 40x70x100 mm boyutlarında delikli tuğla üretimi gerçekleştirilmiştir. Tuğla numuneleri 4 saat boyunca 105°C sıcaklıkta etüvde kurutulmuş, daha sonra 850, 950 ve 1050°C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta 2 saat bekleme süresince sinterlenmiştir. Tüm sıcaklıklar için şlam atığı ikamesindeki artışın tuğla numunelerinin doğrusal küçülme, pişme küçülmesi, ateş zaiyatı değerlerinde artışa sebep olduğu gözlenmiştir. Sıcaklık artışı tuğlalarda basınç dayanımlarını yükseltmiş, ancak şlam atığı ikamesindeki artış dayanım ve su emme değerlerini olumsuz yönde etkilemiştir. Çalışmanın sonucunda, basınç mukavemeti, durabilite ve su emme özellikleri bakımından en uygun tuğla numuneleri % 2,5 şlam atığı ikamesiyle 950°C'de elde edilmiştir.

### 3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Hammadde Karakterizasyonu

Bu çalışmada, hammadde olarak AKDEMİR Tuğla Fabrikası'ndan temin edilen tuğla kili (TK) ve TKİ

İşletmeleri Ömerler Lavvarı şlam atığı (ŞA) kullanılmıştır.

Tuğla üretim prosesine göre tuğla kilinin ortalama % 15-20 oranında nem içermesi gerekmektedir. Ancak, kömür yıkama prosesi gereği şlam atıkları % 80 civarında nem içermekte ve bu atığın tuğla üretiminde ikame hammadde olarak kullanılabilmesi için neminin tuğla kiline yakın bir değere indirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, TKİ Ömerler lavvarı multisiklon grubunun üst akımından alınan şlam atığına yüksek frekans enerjisi yöntemiyle kurutma (susuzlaştırma) işlemi yapılmıştır.

Şlam atığı susuzlaştırıldıktan sonra oluşan toprakların dağıtılması ve tuğla kili ile kolaylıkla karışabilmesi için

kısa süreli öğütülmüştür. Öğütülen şlam atığının tane boyut dağılımı ISO 13320 standardına göre Mastersizer-2000 cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Teorik yoğunluk tayini Quantachrome marka ultrapiknometre 1000, nem içeriği ise Precisa HA 60 nem cihazında 105°C sıcaklıkta belirlenmiştir.

Hammaddelerin mineralojik analizi SHIMADZU marka XRD-6000 Difraktometre cihazı kullanılarak Cu K $\alpha$  radyasyonu ile 1,5418 Å dalga boyu, 2-70° tarama aralığında belirlenmiştir.

Tuğla kili ve şlam atığına ait fiziksel analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Tuğla kili ve şlam atığının fiziksel özellikleri.

Analiz		AKDEMİR Tuğla Kili	Ömerler Kurutulmuş Şlam Atığı
Tane Boyut Dağılımı ( $\mu\text{m}$ )	$d_{90}$	56,28	279,84
	$d_{50}$	9,91	33,63
	$d_{10}$	2,35	3,56
Teorik Yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )		2,7520	2,2953
Bulk Yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )		1,0846	0,6881
Nem (%)		20,10	14,24

Tuğla kili ve susuzlaştırılmış şlam atığının mineralojik analiz (XRD) sonucu incelendiğinde başlıca kuvars ve kil minerallerinden oluştuğu görülmektedir. Tuğla kili genel olarak illitik yapıdadır. XRD sonuçlarında şlam atığının da illitik kil içermesinden dolayı tuğla kiline ikame olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir (Çizelge 2). Endüstriyel ölçekli tuğla üretimi için Ömerler Lavvarı MGS üst akımından alınan ve susuzlaştırılmış olan şlam atığının kalorifik değer sonuçları Çizelge 3'te

verilmiştir. Analiz sonuçları dikkate alındığında atığın kuru bazda % 62 oranında kül (inorganik madde-kil bileşikleri ve kuvars), % 16 civarında karbon içerdiği görülmektedir. Alt ısıl değeri ise 2260 kcal/kg bulunmuştur. Şlam atığının kalorifik değerinin yüksek olmasının sebebi, Ömerler Lavvarı multisiklon çıkışının (MGS üst akım) -53 mikron boyutuna ayarlanmasına rağmen daha iri boyutlarda numune çıkışının meydana gelmesi ve dolayısıyla bir miktar kömür kaçağının olmasıdır.

Çizelge 2. Tuğla kili ve şlam atığının XRD sonuçları.

Mineralojik Faz	Akdemir Tuğla Kili	Ömerler Kurutulmuş Şlam Atığı
Almandine, $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$		*
Anatase, $TiO_2$		*
Anhydrite, $CaSO_4$		*
Calcite, $CaCO_3$		*
Clinocllore, $(Mg,Fe)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$	*	
Dolomite, $CaMg(CO_3)_2$	*	*
Enstatite, $MgSiO_3$	*	
Feldspar	*	
Illite, $(K,H_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$	*	*
Kaolinite, $Al_2Si_2O_5(OH)_4$		*
Magnesioferrite, $MgFe_2O_4$	*	
Magnesite, $MgCO_3$		*
Montmorillonite, $Ca_{0.2}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$	*	
Quartz, $SiO_2$	*	*
Wollastonite, $CaSiO_3$	*	

Çizelge 3. Şlam atığı kalorifik değer sonuçları.

Analizler	Analiz Sonuçları			Yöntem
	Orijinal Bazda	Hava Kuru Bazda	Kuru Bazda	
Nem (% ağı.)	13,09	2,94	-	ASTM D 7582-15
Kül (% ağı.)	53,98	60,28	62,10	ASTM D 7582-15
Uçucu Madde (% ağı.)	19,26	21,51	22,16	ASTM D 7582-15
Sabit Karbon (% ağı.)	13,67	15,27	15,74	ASTM D 3172-13
Toplam Kükürt (% ağı.)	0,85	0,95	0,98	ASTM D 4239-14e2
Alt Isıl Değer (kcal/kg.)	1892	2177	2260	ASTM D 5865-13 ISO 1928-09
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	2055	2295	2364	ASTM D 5865-13

### 3.2 Endüstriyel Ölçekli Tuğla Üretim Çalışmaları

Endüstriyel ölçekli deneysel çalışmada yapılmadan önce laboratuvar ölçekli deneysel çalışma yapılmış olup ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranlarında şlam atığı kullanılarak 800, 850, 900, 950 ve 1000°C olmak üzere 5 farklı sıcaklıkta tuğla numuneleri üretilmiştir. Üretilen numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelendiğinde, 850-900°C pişirim sıcaklık aralığında üretilen

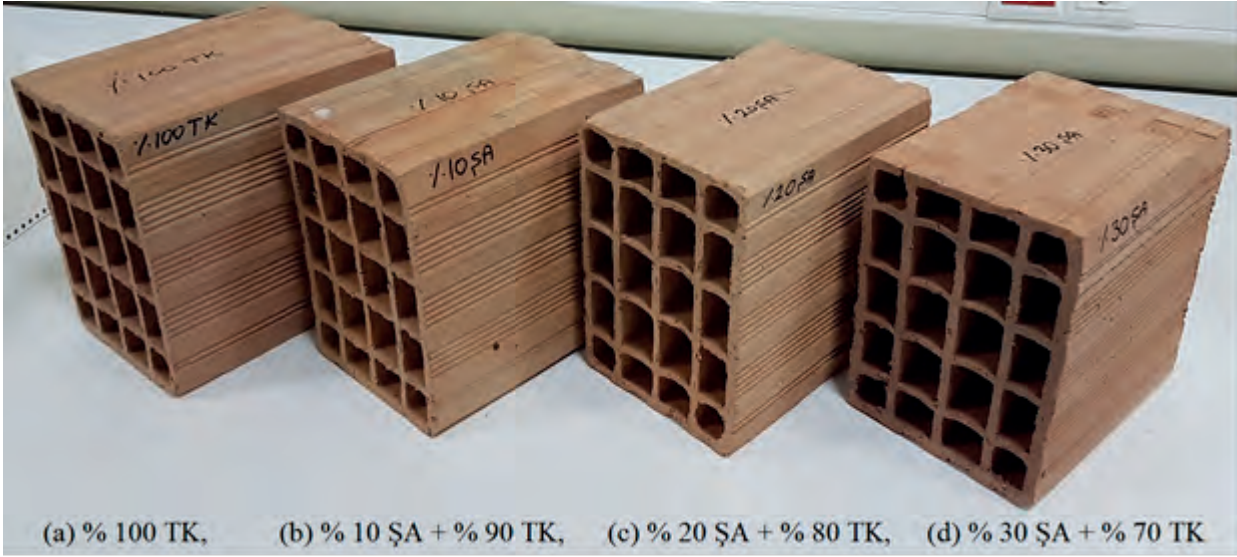
numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin hem % 100 tuğla kili kullanılarak üretilen numunelerin özellikleriyle hem de AKDEMİR Tuğla Fabrika değerleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Bu şartları sağlayan optimum şlam atık ikame oranı % 10 olarak belirlenmiştir. Şlam atığı ikame oranının % 20 ve % 30 olması durumlarında orijinal tuğla numunesinin referans değerlerinden uzaklaştığı tespit edilmiştir. Laboratuvar çalışmalarında elde edilen bulguları doğrulamak

amacıyla, AKDEMİR Tuğla Fabrikası'nda endüstriyel ölçekli deneyler yapılmış, tuğla kiline ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranında şlam atığı ikame edilmiş ve 850-900°C sıcaklığında 13,5'luk düşey delikli tuğla üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen

tuğlaların özellikleri, aynı koşullarda % 100 tuğla kili ile üretilen AKDEMİR orijinal tuğlanın özelliğiyle karşılaştırılmıştır. Üretilen tuğlaların vakum presten çıkışı ve tel kesim ünitesi Şekil 1'de, pişmiş tuğlalar ise Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Üretilen tuğlaların vakum presten çıkışı ve tel kesim ünitesi.



Şekil 2. Sırasıyla orijinal % 100 TK, % 10 ŞA, % 20 ŞA ve % 30 ŞA katkısıyla üretilen tuğla numuneleri.

### 3.3 Numune Karakterizasyonu

AKDEMİR Tuğla Fabrikası tuğla kili ve ağırlıkça % 10, 20 ve 30 ikameli şlam atığı kullanılarak üretilen tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla boyut ve ağırlık ölçümü, pişme

küçülmesi, pişme sonrası ağırlık kaybı, kuru birim hacim kütlesi, basma mukavemeti, su emme oranı, porozite, radyoaktivite ve renk ölçümü testleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir.

LD (düşük yoğunluklu) kâgir birimlerin tasarlanan kullanım yeri

nedeniyle (açık hava şartlarına maruz bırakılmayan tip) “donma/çözünmeye karşı dirençli olma” ve “aktif eriyebilir tuz içeriği” ile ilgili TS EN 771-1 standardında herhangi bir kriter

aranmamaktadır. Çalışmada üretilen tuğlaların LD kategorisine girmesinden dolayı bu testlerin yapılmasına gerek duyulmamıştır.

Çizelge 4. Tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Özellikler		13,5'luk Akdemir Tuğla Değerleri	% 10 ŞA + % 90 TK	% 20 ŞA + % 80 TK	% 30 ŞA + % 70 TK	TSE 771-1:2011+ A1	TS 4790	AKDEMİR TUĞLA CE UYGUNLUK BELGESİ BEYAN DEĞERİ
Tuğla Boyutu (ort) (mm)	Uzunluk	191,3	188,5	187,9	187,1			190
	Genişlik	193,2	189,3	187,5	188,3			190
	Yükseklik	138,0	135,4	133,7	133,6			135
Pişme Küçülmesi (%) (Uzunluk)		4,21	5,16	5,77	6,40		Üst sınır değer: 10	
Pişme Küçülmesi (%) (Genişlik)		3,40	4,92	5,33	5,52		Üst sınır değer: 8	
Pişme küçülmesi (%) (Yükseklik)		3,09	3,94	4,29	4,71		Üst sınır değer: 8	
Pişme Sonrası Ağırlık Kaybı (%)		22,31	33,47	29,95	29,38			
Net Kuru Birim Hacim Kütle (kg/m <sup>3</sup> )		1430	1437	1545	1553	*		
Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Döşeme Yüzü	8,31	8,26	7,82	7,50	**		Min: 2,5
	Alın (Yanak)	7,71	7,62	5,72	5,4			Min: 1,6
Su Emme Oranı (%)		7,86	7,82	7,40	6,22	***		
Dolu Kısımdaki Porozite (%)		11,40	11,37	11,30	9,67			
Radyoaktivite, (I-Aktivite Konsantrasyon İndisi)		0,79 ± 0,04	0,90 ± 0,05	0,92 ± 0,05	0,94 ± 0,05			
Renk Ölçümü	L	64,80	65,77	67,39	67,92			
	a	15,24	15,89	16,37	18,74			
Analizi	b	23,97	24,27	25,36	26,86			

\* Kil kâgir birimlerin net kuru birim hacim kütle, kg/m<sup>3</sup> olarak, imalâtçı tarafından beyan edilmelidir. (Madde 5.2.3.2).

\*\* İmalâtçı piyasada bu özelliği ile ilgili kullanılacak kil kâgir birimlerin ve yük taşıyıcı elemanlarda kullanılacak kil kâgir birimlerin ortalama basınç dayanımı beyan etmelidir (Madde 5.2.4).

\*\*\* LD (düşük yoğunluk) kâgir birimlerin tasarlanan kullanım yeri nedeniyle, su emme ile ilgili herhangi şart dikkate alınmaz (Madde 5.2.7).

#### 4 DEĞERLENDİRME

Laboratuvar ölçekli deneysel çalışmalarda, pişirme sıcaklığının şlam atığı ikameli tuğlalar üzerindeki etkisi araştırıldığında 850-900°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda referans değerlerden uzaklaşıldığı tespit edilmiştir. Laboratuvar çalışması sonucunda elde edilen bu bulgunun AKDEMİR Tuğla Fabrikası'nın uygulamış olduğu üretim prosesiyle uyumlu olmasından dolayı, endüstriyel ölçekli deneysel çalışmalarda 850-900°C pişirme sıcaklığı uygulanmıştır. Bu sıcaklık sabit kabul edilerek tuğla kiline farklı oranlardaki şlam atığı ikamesinin tuğla numuneleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4'te belirtilen sonuçlara göre aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

Ağırlıkça % 10, % 20 ve % 30 şlam atığı katkılı tuğlaların uzunluk, genişlik ve yükseklik değerlerinin hem orijinal tuğla değerleriyle hem de TSE 771-1:2011+A1 ve TS 4790 standartlarında belirtilen değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir.

Şlam atığı ikamesiyle üretilen tuğlalarda pişme küçülmesi ve pişme sonrası ağırlık kaybı açısından herhangi bir olumsuz durum gözlenmemiş ve atık ikameli numune değerleri ile orijinal tuğla değerleri uyumlu bulunmuştur. Ancak, şlam atığı ikame oranı arttıkça tuğlalarda pişme küçülmesi ve pişme sonrası ağırlık kaybı değerleri artmıştır. Bunun nedeni, şlam atığının yüksek miktarda karbon içermesidir. Üretim esnasında küçülme değerlerinde meydana gelebilecek bu farklılığı engellemek için mevcut tuğla üretim prosesini ve herhangi bir cihazın boyutunu değiştirmeden sadece tel

kesme mesafesinin ayarlanarak orijinal tuğla kiline ağırlıkça % 30 oranında şlam atığı ikame edilebileceği tespit edilmiştir.

Tuğlalarda önemli bir parametre olan basınç dayanımı değerleri incelendiğinde, şlam atığı ikame oranının artmasıyla basınç dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmiş, buna rağmen hem tuğla fabrikasının beyan ettiği limit değerlerle hem de orijinal tuğla basınç dayanımı değerleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Buna göre, tuğla kiline ağırlıkça % 30 oranında şlam atığı ikame edilerek üretilecek tuğlaların istenilen basınç dayanımı değerlerini karşılayacağı tespit edilmiştir.

Üretilen tuğlaların radyoaktivite analizi Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde (ÇNAEM) ASTM E-181 metoduna göre yapılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, tüm atık ikamelerinde I (aktivite konsantrasyon indisi) değeri 1'den küçük çıkmış, dolayısıyla bu tuğlaların yapı malzemesi olarak kullanılmasında bir sakınca görülmemiştir.

Tuğlaların renk ölçümleri X-Rite SP64 model portatif spektrometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihazın çalışma prensibine göre, L bileşeni 0'dan 100'e kadar değişebilen bir açıklık – koyuluğu; a bileşeni 0'dan büyük olduğunda kırmızı rengi, 0'dan küçük olduğunda yeşil rengi; b bileşeni ise 0'dan büyük olduğunda sarı rengi, 0'dan küçük olduğunda mavi rengi ifade etmektedir. Renk ölçüm analiz sonuçlarına göre, şlam atığı katkı oranı arttıkça numunelerde orijinal tuğla rengine göre biraz daha koyu



kırmızı ve renk tonunda koyulaşma meydana gelmiştir. Piyasada koyu renkli tuğlaların tercih edildiği göz önüne alınırsa, ağırlıkça % 30 oranında şlam atığı ikamesiyle üretilen tuğlaların daha çok tercih edileceği kanaatine varılmıştır.

## 5 SONUÇ

AKDEMİR Tuğla Fabrikası'nda üretilen tuğlalara uygulanan ve standartta belirtilen tüm test ve analiz sonuçları dikkate alındığında, tuğla kiline % 10, % 20 ve % 30 oranında şlam atığının ilave edilmesiyle standart değerleri sağlayan tuğla üretilebileceği kanaatine varılmıştır. Atıkları mümkün olduğu kadar geri kazanmak ve yeniden kullanmak amacı dikkate alındığında ve yukarıda belirtilen bulgular doğrultusunda, tuğla kiline % 30 oranında şlam atığının ilave edilerek tuğla üretiminin mümkün olduğu görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- ASTM D 3172-13, Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke.
- ASTM D 4239-14e2, Standard Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion.
- ASTM D 5865-13, Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke.
- ASTM D 7582-15, Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis.
- ASTM E-181, Standard Test Methods for Detector Calibration and Analysis of Radionuclides.
- Burmistrov, V.N., 1979. Use of Coal Washery Wastes for Common Brickmaking, *Coke and Chemistry U.S.S.R.*, No.9, s.71-73.
- Burmistrov, V.N., Petrova, G.P., Tambovtseva, N.A., 1981. Washery Wastes as a Source of Raw Materials for

Ceramic Products, *COKE CHEM. USSR.*, No.8, s.94-97.

Dondi, M., Marsigli, M., Fabbri, B., 1997. Recycling in Industrial and Urban Wastes in Brick Production – A Review, *Tile & Brick International*, Vol.13, No.3, s.218-225.

ISO 1928-09, Solid Mineral Fuels -- Determination of Gross Calorific Value by the Bomb Calorimetric Method and Calculation of Net Calorific Value.

ISO 13320:2009, Particle Size Analysis-Laser Diffraction Methods, 51 S.

Montgomery, D.G., 1991. Potential Utilization of Coal Washery Wastes in Engineering Construction, *Transactions of the Institution of Engineers*, Vol.33, No.4, s.277-283.

Oruç, F., 2006. Kil İçerikli Kömür Hazırlama Tesisi Atıklarından Temiz Kömür Üretimi ve Atık Kilin Tuğla Üretiminde Kullanımı, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, Temmuz.

Preobrazhenskii, B.P., Voznyi, G.F., Zakrinskaya, N.R., Gorbach, R.F., Kurochka, E.F., 1976. Washery Wastes for Brickmaking, *Coke Chem., USSR*, Vol.10, No.10, s.44-46.

Sabah, E., 2007. *TÜBİTAK MAG Raporu*, 104I080, 128 S.

Shpirt, M.Y., 1980. Prospects for Utilizing Coal Washery Wastes, *Coke Chem. USSR*, Vol.9, No.9, s.39-42.

Siefke, C., 1997. Production of Ceramic Building Materials in Russia from Coal Tailings, *Tile & Brick International*, Vol. 13, No. 2, s.116-131.

TS 4790, Test Method for Common Bricks and Roofing Tile Clays.

TSE 771-1: 2011+A1, Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâgir birimler (tuğlalar).

# Türkiye’de Altın Madenciliğinin Dünü, Bugünü ve Geleceği

## *Past, Present and Future Of The Gold Mining in Turkey*

M.Köse<sup>1</sup>, V.Oygür<sup>2</sup>, G.Gürses<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Altın Madencileri Derneği*

<sup>2</sup>*Serbest Danışman*

<sup>3</sup>*Tuprag Metal Madencilik A.Ş*

**ÖZET** Dünyada ilk altın ayarlı sikkeler, bu topraklarda, M.Ö. 560-547 yıllarında Anadolu’da Manisa-Salihli-Sart’ta basılmıştır. İlk altın rafineri tesislerinin de yine burada kurulmuş olması tesadüf değildir. Türkiye parlak altın geçmişi, altın potansiyeli, uluslararası standartların da üstünde çevreye ve insana saygılı altın üretim tesisleri, rafineri tesisleri, altın borsası mücevherat ve kuyumculuk kültürü ile dünyada önemli bir yere sahiptir.

Anadolu, dün olduğu gibi bugün de dünyada önemli altın potansiyeline sahip bölgeler arasında yer almaktadır. Türkiye’de son 25-30 yıldan bu yana uluslararası standartlarda gerçekleştirilen altın arama projeleri ile önemli yeni altın yatakları keşfedilmiş bunların çoğu da üretime geçmiştir. 2001 yılında 1,4 ton/yıl ile başlayan altın üretimimiz 2013 yılında 33,5 ton/yıl seviyesine ulaşmış daha sonra düşüşe geçmiştir. 2012 yılından beri devam eden düşüşün tersine çevrilebilmesi için izin alma sürecinde yaşanan belirsizliklerin sona ermesi ve aramaların teşvik edilmesi gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler** Altın Madenciliği, Uluslararası Standartlar, İlk Para, Yatırım Ortamı

**ABSTRACT** The first gold-graded coins (currency) were minted here, in the lands of Anatolia, around Manisa-Salihli-Sart between 560-547 BC. It is never a coincidence as well that the first gold refineries were also established in Anatolia. Turkey occupies a significant place in the globe with its brilliant past in relation to gold, its gold potential, its gold production facilities that respect the humans and environment far beyond the reach of international standards, its refineries, its gold exchange, and its jewelry and jewelry-crafting culture.

Anatolia, as it was in the past, is still among the regions that have a significant gold potential around the globe. New significant gold deposits were discovered in the last 25-30 years through gold exploration projects which were carried out by the international standards in Turkey, and most of these deposits started gold production since 2001. Turkish gold production, which started with a 1,4 tons/year ratio in 2001, reached to a level of 33, 5 tons/year in 2013, but it began to decline afterwards. In order to reverse the decline that has been continuing since 2012, it is of paramount importance that the uncertainties surrounding the licensing processes be clarified and the exploring the projects be incentivized.

**Key Words** Gold Mining, International Standards, First Coin, Investment Climate

### 1. ANADOLU’DA ALTIN MADENCİLİĞİN TARİHÇESİ

İnsanlık tarihi boyunca, Anadolu’da çok sayıda ve gelişmiş uygarlıkların ortaya çıkmış olmasının nedeni zengin altın

kaynakları ve diğer madenlerin varlığıdır. Bilim dünyasında da Anadolu madenciliğinin beşiği olarak bilinir. Anadolu’daki en eski madencilik yeri, Neolitik döneme de (MÖ 7250-6750) tarihlenen Diyarbakır-

Ergani'deki Çayönü bakır madenidir. MÖ 4'üncü bin yılın sonlarında önce gümüş ve kurşun ardından altın Anadolu madencilik tarihine girmiştir. Anadolu'da çok sayıda antik altın işletmesinin varlığı bilinmektedir (Şekil 1). Orta Anadolu'da yaşayan Hitit'lerin başkenti Hattuşa'da (Çorum-Boğazkale), MÖ 2300-2000 yıllarına tarihlenen çok miktarda altından yapılmış eşyalar ve takılar bulunmuştur .

En önemli krallarından I. Hattuşili (MÖ 1650-1620), kentin zenginliğini bir yazıtta şöyle anlatmaktadır : “Gümüş ve altının ne başı vardı ne sonu ...” Truva'dan Schliemann tarafından 1870 yılında kaçırılan, MÖ 2500-2000 yıllarına ait “Kral Priamos'un Hazinesi” iyi bilinmektedir.

Priamos'un hazinelerindeki altının kaynağı, Anadolu'daki altın madenciliğini ilk kez kayıt altına alan Amasya'lı Strabon'un (MÖ 64 - MS 24) “Coğrafya” kitabında geçmektedir. Strabon, altının, Truva'ya yaklaşık 25 km uzaklıktaki Astyra madenlerinden üretildiğinden söz etmektedir: “Priamos'unki Abydos dolaylarında Astyra altın madenlerinin (bugün hala az miktarda kalıntı vardır. Bu madenlerden çıkartılan malzeme çok fazladır ve yapılan kazılar çok eski çağlardan beri madenin işlediğini gösterir)” ve “Yıkıntı halinde olan bu kent şimdi Abydoslulara aittir, fakat daha önceleri bağımsızdı ve altın madenleri vardı. Bu madenler, tıpkı Paktalos nehrine bitişik olan Tmolos dağındakiler gibi işletilmekten ötürü fakirleşmiştir”.



Şekil 1. Anadoluda antik altın madenciliği haritası

Astyra altın madeni, Birinci Dünya Savaşı'nın başladığı 1914 yılına kadar İngilizler tarafından işletilmiştir. Kolhis (MÖ 1700-800) kralı Aiet'in altın zenginliği dillere destandır. Eski Yunan'dan yola çıkan Argonotlar, “Altın Postu” çalmak için Kolhis'e sefer düzenler. Belki de MÖ 3 ila 4'üncü yüzyıllara tarihlenen güney Gürcistan'daki Sakdrisi madeni, mitolojideki Kolhis ülkesine ait bu madendir . Agricola, De Re Metallica adlı kitabında, Homeros'un Odysseia'sında geçen “Altın Post” deyiminin, suyu süzer iken içindeki altın

taneciklerini tutacak olan hayvan derisi kullanımıyla ilgili olduğunu yazmıştır .

Uygarlık tarihinde ilk para (Au-Ag karışımı Elektron olarak) Lidyalılar tarafından (MÖ 700) kullanılmıştır. Lidya Kralı Krezüs (Kroisos, MÖ 560-547) döneminde ise ayarlı ilk altın para Anadolu'da basılmıştır (Şekil 2). Herodot (MÖ 484-425), Lidya kralı Krezüs'ün hazinelerindeki altının kaynağını çok açık bir dille söylememekle birlikte Paktolos (Sart) çayının “Tmolos'tan (Bozdağ) akıp gelen altın kumu vardır” demektedir . Krezüs, Delfi'deki Apollon tapınağına 117 külçe

altın bağışlamıştır ki Herodot Tarihi'nde her bir külçenin 2,5 talanton çektiğini (1 talanton=26 kg) yazdığına göre bu altının miktarı 7605 kg olmalıdır.



Şekil 2- Lidya aslanı altın parasının ön ve arka yüzü



Şekil 3- Kanuni Sultan Süleyman'ın bastırıldığı Canca ( Gümüşhane ) altını. Hicri 920-Miladi 1504

Strabon, Lidya krallarının servetinin kaynağı hakkında şöyle yazmıştır : “Paktolos ırmağı Tmolos dağından çıkar. Eski zamanlarda bu nehirde çok miktarda altın tozu bulunmuştu ve Kroisos ve onun ecdadının zenginliğinin ününün, buradan kaynaklandığı söylenir. Fakat şimdi altın tozu yoktur”. Kitabının ilerideki bir bölümünde ise altın madeninin yerini tanımlamaktadır: “Gyges, Alyates ve Kroisos’unkiler Lydia’da, topraklarının madenleri tüketilmiş olan küçük bir köyün bulunduğu Atarneos ile Pergamon arasındaki bölgeden elde edilmiştir”.

Anlatılan altın madeni, Dikili (Aterneos) ile Bergama'nın (Pergamon) tam ortasında bulunan Ovacık Altın Madeni olabilir. Ancak, buradaki antik madencilik izlerinin deneme amaçlı ve çok küçük boyutlardaki görünümü, Strabon'un söz ettiği yerin Ovacık'ın 3 km kuzeyinde, Narlıca köyü yakınlarındaki eski işletme çukurlarının

olduğu yer veya daha kuzeyde Kozak yakınlarında başka bir yer olabileceğini de düşündürmektedir.

Zenginliğiyle ünlü bir başka Anadolu kralı, her tuttuğu altın olan Frigya kralı Midas'tır (MÖ 738-696). Strabon, Kral Midas'ın altınlarının Bilecik yöresindeki Bermios Dağı dolaylarından geldiğini yazmıştır. Frigya topraklarındaki altın ticareti ile ünlü izanoi (Çavdarhisar) kenti borsa binasının duvarında,

Bilecik yöresinden Bermios Dağı'ndan getirilen altın ve gümüşün fiyatları yazılıdır.

Bu altının çıkarıldığı maden ise, Osmanlılar devrinde de işletilmiş olan Söğüt yakınlarındaki Korudanlık altın madeni olabilir.

Osmanlılar döneminde de işletilen altın-gümüş madenleri, eski Anadolu uygarlıklarında olduğu gibi, imparatorluk hazinesi için zenginlik kaynağı olmuştur. Kanuni döneminde, Anadolu'da 40 adet darphane vardır ve bu dönemde, Gümüşhane'de “Canca” adıyla altın para basılmıştır (Şekil 3). Evliya Çelebi, Hacı Emin Mahallesindeki darphaneyi Seyahatnamesinde anlatmıştır.

Yurdumuzda Cumhuriyet dönemi öncesinde en son, Birinci Dünya Savaşı başlamadan

önce, Astyra/Kartaldağ/Madendağ (Kirazlı-Çanakale), Arapdağ (Karşıyaka-İzmir), Bolkardağ (Niğde), Kiseçikköy (Hatay) ve Darphane'de (Kağızman-Kars) altın üretimi yapılmıştır.

## 2.YENİ ALTIN ÇAĞI

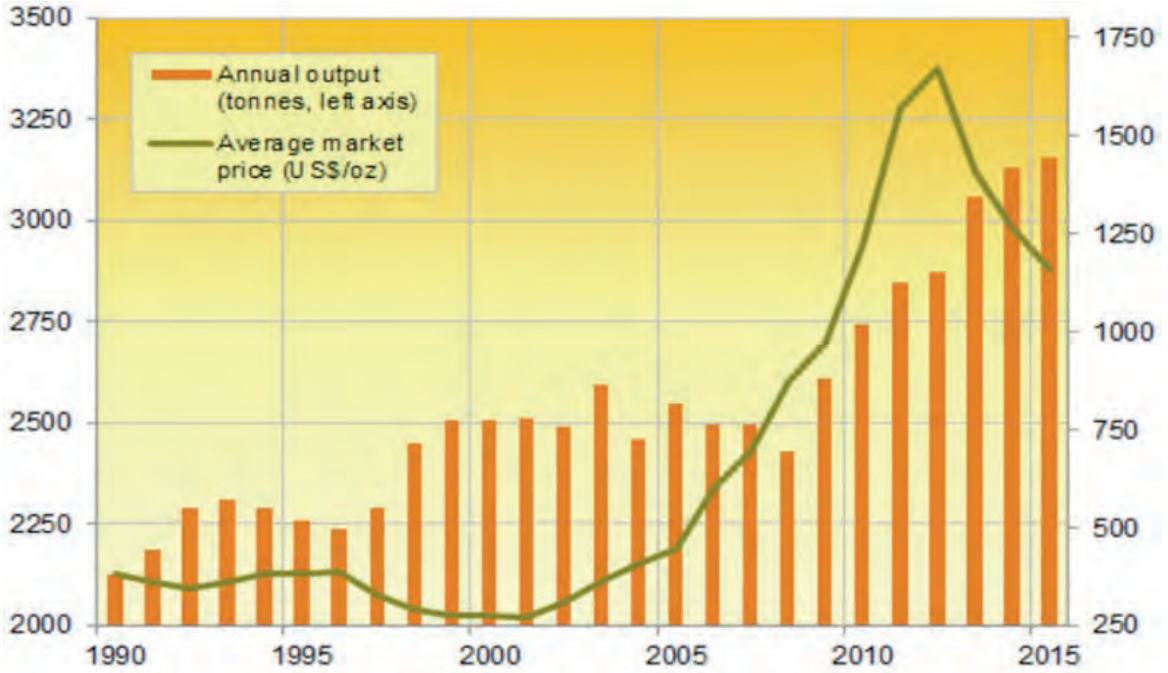
ABD'de ilk çağdaş altın madeninin üretime alındığı 1850'lerden 1970'lere kadar altın fiyatları neredeyse sabit kalmıştır (1934'e kadar 20 \$/ons ve 1968'e kadar 35 \$/ons).

Altın fiyatlarının hızla artan maliyetlerin altında kalması nedeniyle, sanayileşmiş büyük ülkelerde yeni altın madenlerine yatırım yapılmamaya ve var olanlar da kapanmaya başlamıştır. 1970 yılından sonra 1980 yılına kadar altın fiyatları artmıştır. 1980'den sonra ise düşüşe geçmiştir.

Şekil 4'den de görüleceği gibi 2002-2012 yılları arasında altın fiyatları artış eğilimi

göstermiştir. 2012'den sonra ise düşüşe geçmiştir.

bilinmektedir. Madencilik dünyası bu yöntemle ilk kez 1867'de altın ve



Şekil 4. Altın Üretimini ve Fiyatlarının Tarihsel Gelişimi

<https://www.bullionvault.com/gold-news/gold-mining>

1974 ten sonra altın fiyatlarındaki bu yükselme, altına olan talebi de beraberinde getirmiştir. Yüksek altın fiyatlarının üretimi zorlamasıyla birlikte, düşük tenörlü epitermal tip cevherlerin işletilmesine olanak veren siyanürleme yönteminin katkısıyla, 70'li yıllardan itibaren altın üretimi hızlı bir yükselme dönemine girmiştir. Bunun sonucunda Amerika, Avustralya ve Pasifik'teki çok sayıda altın madeni üretime geçmiştir. Dünya altın üretimi, 1975'de 1200 tondan 2016'da 3236 tona yükselerek iki buçuk katından fazla (2,7 kat) artmıştır.

Kuşkusuz, bu gelişmeyi bir rastlantısal olay olarak görmemiz doğru değildir. Dünyanın altın talebi ise, aynı dönem için, 1975'deki 1112 tondan 2016'da 4308 tona yükselmiştir. 1975 yılından itibaren, arz-talep arasında sürekli talep lehine artan bir makas açılmaktadır.<sup>10</sup>

### 3. TEKNOLOJİK YENİLİKLER

Düşük tenörlü, buna karşın yüksek rezervli cevherlerin işletilmesine olanak veren siyanür çözeltisi içerisinde altının çözünürlüğü yüz yıldan fazladır

gümüşlü cevherlerin işlenmesi için ABD'de alınan bir patent aracılığıyla tanışmıştır. Bu yöntem, ancak, 1891 yılında Güney Afrika'daki bir altın madeninde ve ardından 1897'de Yeni Zelanda'da uygulamaya sokulmuş fakat maliyetinin yüksek oluşu nedeniyle uygulanamayacağına karar verilmiştir.

1950 yılında, U.S. Bureau of Mines yayımladığı bir raporla, aktif karbona soğurma (adsorbsiyon) tekniğiyle siyanürlemenin düşük tenörlü altın cevherlerinde ekonomik olarak uygulanabileceğini göstermiştir. Yakın dönemdeki altın fiyatlarının hızla yükselmesinin yanı sıra aynı yıllarda, sanayideki iki gelişme sonucunda, madencilik teknolojisinde devrim yaratan siyanürleme liçi teknolojisi yaklaşık 100 yıl sonra yaygın biçimde kullanılmaya başlandı:

1- Geçirimsizliği sağlamak için havuz ve yığınların tabanına serilen yüksek yoğunlukta polietilen örtüler (jeomembran) artık daha ekonomik olup ve kolayca temin edilebilmektedir.

2- Klasik çinko tozu ile çökertme yöntemi yerine, metalin çözeltiden daha düşük

maliyetle ve kısa zamanda alınmasını sağlayan aktif karbon adsorpsiyonu tekniği günümüzde mükemmelleşmiştir.

Günümüzdeki üretim maliyeti ile altın fiyatları arasındaki olumlu ilişki sürdüğü müddetçe, altın madenciliğinin büyümeye devam edeceği tahmin edilmektedir.

#### **4.CUMHURİYET DÖNEMİNDE ALTIN MADENCİLİĞİ**

Cumhuriyet'in ilk yıllarında altın madenciliğine özel bir önem verilmiştir. Bolkardağ madenlerinde 1885 yılından 1912 yılına kadar 40 g/t tenöründe yılda 1000 ton cevher çıkarıldığına ilişkin kayıtlara rastlanmıştır. Cumhuriyetin ilk yıllarında bu madenlerde altın üretimi için çalışmalar yapılmış ve 1927 yılında 120 bin ton cevher çıkarıldığı belirtilmektedir.

Anadolu'nun tarihteki altın zenginliğinden yola çıkılarak Atatürk tarafından Cumhuriyetimizin ilk madencilik kurumu Altın Arama ve İşletme İdaresi Başkanlığı ve Petrol Arama ve İşletme İdaresi Başkanlığı 1933 yılında kurulmuştur. Altın Arama ve İşletme İdaresi Başkanlığı'nın görevi 1935 yılında kurulan Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü'ne (MTA) devredilmiştir. MTA tarafından keşfedilen bulunan madenlerin işletilmesi için Etibank kurulmuştur.

MTA kuruluşundan itibaren altın arama çalışmalarını yürütmüş, fakat MTA tarafından belirlenen cevherleşmeler bir altın işletmesine dönüşmemiştir. Bunun nedeni, MTA laboratuvarlarındaki altın analizlerinde kullanılan deteksiyon limitinin cevherleşmedeki altın içeriğinden çok yüksek olmasıdır. Bu nedenle yıllarca, MTA tarafından, ülkemizde işletilebilir altın madeni olmadığı ileri sürülmüştür.

Türkiye'nin çok renkli bir jeolojisi ve metalojenik zenginliği vardır. Yurdumuz, özellikle, Batı Anadolu ve Doğu Karadeniz, dünyanın önemli altın üretimi yapılan bölgeleriyle jeolojik yapısı itibarıyla büyük bir benzerlik göstermektedir. Bunlara ek olarak Batı Anadolu'nun genç andezitik volkanizmalar ile epitermal cevherleşmeler açısından önem taşıyan jeotermal sistemler bakımından zengin olması ayrıca, epitermal

altın yataklarının iz elementi olarak önem taşıyan Sb-As-Hg cevherleşmelerinin yaygın olarak görülmesi; Doğu Karadeniz bölgesindeyse, altın yatakları açısından önemli olan masif sülfid ve porfiri yataklarının bulunması; Orta ve Doğu Anadolu'da listvenitlerle yakından ilgili ofiyolitlerin geniş alanlar kaplaması topraklarımızın, altın oluşumlarının yerleşmesi için jeolojik açıdan çok elverişli olduğunu göstermektedir. Bu jeolojik renklilik ve metalojenik çeşitlilik üzerine, Anadolu madencilik tarihinde önemli bir yeri olan antik altın işletmelerini yerleştirdiğimizde Anadolu altın madenciliği açısından gerçekten çok önemli bir tarihe sahiptir.

#### **5.ARAMALARIN HIZ KAZANMASI**

Misafir öğretim üyesi olarak Türkiye'de bulunduğu sırada bazı altın sahalarını incelemek fırsatını bulan Prof. Dr. Larson, 1989 yılında, Prof. Dr. İrfan Bayraktar'ın<sup>19</sup> kendisine Türkiye'nin epitermal altın yatakları bakımından konumunu dile getiren bir makale yazması konusundaki önerileri sonucunda Türkiye'nin jeolojik yapısının ABD'deki altın madenlerinin yoğun olarak bulunduğu Nevada ve California bölgelerinin jeolojik yapısı ile önemli benzerlikler gösterdiği tespitinden hareketle Türkiye'nin önemli miktarda altın potansiyeline sahip olabileceği öngörüsünde bulunmuştur.

Daha sonra, Prof. Dr. Ayhan Erler, söz konusu benzerliğe dayanarak, 1997 yılında ülkemizin altın potansiyeline ilişkin bir tahmin çalışması gerçekleştirmiştir<sup>20</sup>. Prof. Erler çalışmasında, 5 ayrı jeolojik kaynak modeli kullanarak Türkiye altın potansiyelinin 6500 tona kadar çıkabileceği tahmininde bulunmuştur. Yapılan bu modelleme çalışmasından yaklaşık üç yıl sonra bulunan ve büyüklük itibarıyla dünya sıralamasında ilk ona giren iki altın yatağı, Uşak-Eşme'deki Kışladağ ve Erzincan-İlç'deki (Çöpler), öngörülerin gerçekliğine ilişkin önemli kanıtlar olmuştur.

Yapılan arama çalışmaları ile bilinen rezervlere sürekli yenileri eklenmiştir. Arama çalışmalarının teşvik edilerek

hızlandırılması, ümit edilen büyük rezervlerin daha çabuk ortaya çıkarılmasını sağlayacaktır. Dünya altın madenciliği istatistikleri incelendiğinde, bulunan bütün rezervlerin hızla üretime alındığı görülmektedir. Türkiye’de ise keşfedilen işletilebilir altın rezervlerinin süratle üretime geçirilebilmesi için yatırım ortamının sektörün talepleri dikkate alınarak iyileştirilmesine ihtiyaç vardır<sup>21</sup>.

1985 yılından başlayarak yabancı sermayeli Türk özel şirketlerinin altın madenciliğine yatırımları artarak sürmüştür. Türkiye’nin ilk altın madeni olan Ovacık’ta altın rezervi 1989 yılında keşfedilmiş, 1991 yılında ÇED raporu hazırlanmış ve gerekli izinler alınarak tesis inşaatına başlanmıştır. Dikkati çeken nokta ise ÇED Raporunun hazırlandığı bu tarihte ülkemizde henüz ÇED Yönetmeliği bulunmayıp ülkemizdeki ilk ÇED Yönetmeliği’nin 7 Şubat 1993 tarihinde yürürlüğe girmiş olmasıdır. Ovacık altın madeni tesislerinin inşaatı 1996 yılında tamamlanmış, fakat o yıldan itibaren çok sayıdaki idari dava nedeniyle maden bir türlü işletmeye alınamamıştır. Nihayet, son nokta konularak, Ovacık’ta altın madeni keşfinden tam 12 yıl sonra, 2001 yılında Cumhuriyet Türkiye’sinde altın üretimine başlanmıştır.

Ovacık’ı diğer madenler de izlemiş ve halen günümüzde 11 madende altın üretilmektedir. 2001 yılındaki ilk altın üretimi 1,4 ton/yıl olarak başlamış ve geçen yıllarda sürekli artarak 2013 yılında 33,5 tona yükselmiştir. Haziran 2012’de yürürlüğe giren Başbakanlık Genelgesi ile

madencilik faaliyetleri için alınması gereken zorunlu izinlerin Başbakanlığın onayına sunulmasından sonra izinlerin alınmasında yaşanan sıkıntılar nedeniyle bu tarihten sonra altın üretimi düşmeye başlamıştır.

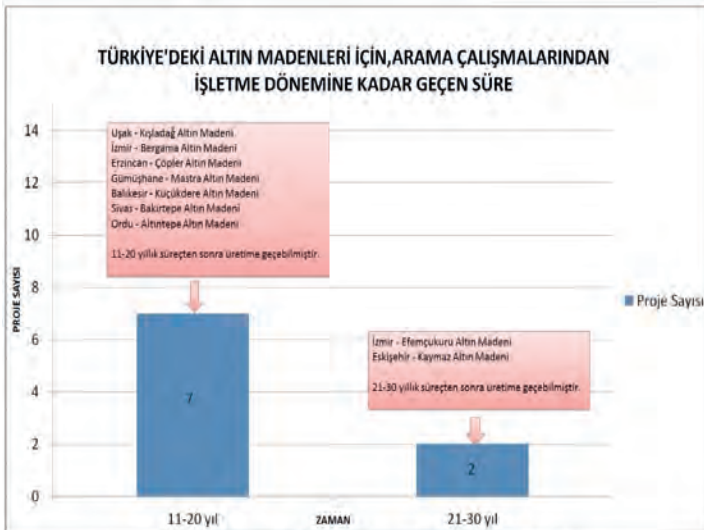
## 6.ULUSLARARASI STANDARTLARIN YAKALANMASI

Aramaların hız kazanmasıyla birlikte yabancı şirketlerin ülkemizde altın madenciliğine girmesiyle maden işletme ve zenginleştirme projeleri de madencilikte gelişmiş ülkelerin standartlarına göre yapılmaya başlanmıştır. 2001 yılına kadar Türkiye’de altın madenciliğinde fiziksel zenginleştirme yöntemleri ile sadece plaser tipi altın yatakları işletilebiliyordu. Plaser tipteki maden yatakları dışında bilgi sahibi değildik.

Türkiye’nin hidrometalurjik zenginleştirme yöntemiyle cevherden metal kazanma tecrübesi MTA’nın Salihli Köprübaşı’ndaki pilot çapta sülfürik asit özütlemesiyle uranyum cevherinden sarı pasta eldesi ve yine İtalyanlar tarafından 1991 yılında MTA’da kurulan altın pilot tesisinde İzmir Arapdağı altın cevherlerinden siyanürleme yöntemiyle altın elde edilerek külçe dökümü ile sınırlıydı. MTA altın pilot tesisinde, altın kazanımından başka, proses atıklarında siyanürün doğal bozunma, kimyasal bozundurma ve siyanürün yeniden kazanımı süreçlerini incelemek üzere bir dizi araştırma da yürütülmüştür.

Türkiye’ye gelen kurumsal yapıya sahip altın madenciliğinde tecrübeli madencilik firmalarından altın madenciliği ile birlikte arama jeokimyası ve maden yatak modellemesi başta olmak üzere, büyük madencilik projelerinin planlamasından yatırıma kadar geçen süreçlerin uluslararası standartlara göre nasıl yürütüleceğini konusunda tecrübeye sahip olduk.

Türkiye’de madencilikte gelişmiş ülkelerdekinden daha da modern açık ocak ve yeraltı işletme projeleri hayata geçirildi. Tank liçi, yığın liçi, rehabilitasyon, pasa ve atık yönetimi, madencilikte kullanılan kimyasalların arıtılması, çevre değerlerine saygılı modern maden atık barajları, asit maden drenajı ve maden kapatma projeleri başarı ile uygulanmaya başlandı.

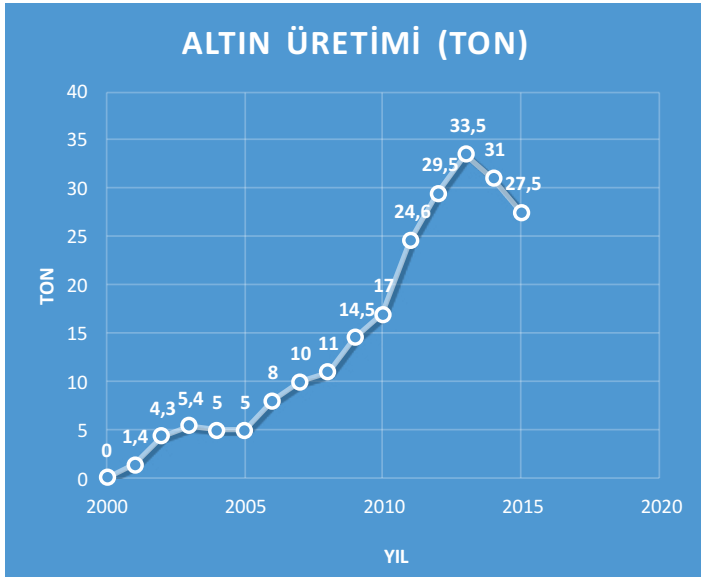


Şekil 5. Aramadan Üretime Geçinceye Kadar Geçen Süreler

Uluslararası standartlarda fizibilite projeleri, iş güvenliği ve işçi sağlığı projeleri, şirketin iç denetimi yanında, şirket dışından bağımsız denetim kuruluşlarının denetimi gibi konularda çok önemli tecrübeler kazanıldı. Madencilikte aile şirketi yerine kurumsal madencilik şirket kültürü ile çalışmanın başarıda ne kadar önemli olduğu görüldü.



Şekil 6. İzmir Arapdağı altın cevherinden elde edilen külçe altınlar



Şekil 7. Türkiye'de Altın Üretimi

## 7. ALTIN MADENCİLİĞİNİN EKONOMİYE KATKISI

Türkiye'de altın madenciliğine son 25 yılda yaklaşık 3 milyar Dolarlık yatırım yapılmıştır. Bu yatırımların 800 milyon Doları maden aramaları ve 2,2 milyar Doları ise tesis yatırımlarıdır. Bu yatırımlarla yaklaşık 7,500 kişiye doğrudan istihdam sağlanmıştır. Bunun sonucunda da 2013 yılında yıllık altın ihtiyacımızın (son 22 yılın

ortalaması olan 150 ton /yıl) yaklaşık %20'sini kendi altın potansiyelimizden karşılar hale gelmiştik.

2001 yılında 1.4 ton olan altın üretimi; 2013 yılında 33,5 ton seviyesine ulaşmış ve altın madencileri 7,5 ton altına eşdeğer vergi ödemişlerdir. 2012 yılında çıkartılan Başbakanlık Genelgesi ile madencilik faaliyetleri için alınması gereken izinlerin Başbakanlık onayına sunulmasından sonra madencilik faaliyetlerinin yapılabilmesi için gerekli izinlerin alınmasında yaşanan belirsizlikler nedeni ile diğer maden üretimlerinde olduğu gibi altın üretimi de düşmeye başlamış ve 2014 yılında 31 tona, 2015 yılında 27,5 tona düşmüştür. 2016 yılında da altın üretiminde düşüş devam etmiştir. (Şekil 7).<sup>22</sup>

2016 yılı itibariyle Uşak, İzmir (2 adet), Erzincan, Eskişehir, Niğde, Kayseri, Ordu, Gümüşhane ve Sivas'ta ve Salihli-Sart (plaser) bulunan toplam 11 madende altın üretimi gerçekleştirilmektedir.

Bunların dışında geçmiş yıllarda bulunmuş olan Çanakkale-Lâpseki, Balıkesir-Sındırgı, Kayseri-Develi, Artvin-Yusufeli, Artvin-Cerrattepe, Balıkesir-Gediktepe ve Karadere'de, Konya-İnlince'de altın madenlerini işletmeye almak için izin alma süreçleri ve yatırımlar devam etmektedir.

## 8. TÜRKİYE'NİN ALTIN İTHALATI

Türkiye sosyal yapısı gereği dünyada altın ithalatında önemli bir oyuncu konumundadır. Ülkemizde yılda yaklaşık 1,3 milyon yeni doğum olmakta, 600 bin düğün, nişan ve sünnet töreni gerçekleştirilmektedir. Bilindiği gibi insanlarımız doğum, düğün, nişan, söz, sünnet vb günlerinde hediye olarak genellikle altını tercih etmektedir. Ayrıca tasarruflarını altın olarak değerlendirme eğilimi fazla olduğu için vatandaşlarımızın altına olan talebi çok yüksektir. Bunun en önemli göstergesi ülkemizin altın ithalat rakamlarıdır.

Ülkemiz son 22 yılda 3280 ton altın ithal etmiştir. Bir başka ifade ile ülkemizin altın ithalatı ortalaması 150 ton/yıl seviyesindedir.



Altın fiyatlarına bağlı olarak altın ithalatına yılda yaklaşık 6-8 milyar dolar para ödeyen bir ülke konumundayız.<sup>22</sup>

## 9. ARAMALARIN ULUSLARARASI STANDARTLARA UYGUNLUĞU

Altın madenciliği Türkiye’de maden kaynak ve rezervlerin uluslararası standartlarda güvenilir şekilde rapor edilmesine öncülük etmiştir.

Ülkemizde metal madenciliği ile uğraşan madenciler, Maden Kanunu’nun 17 nci maddesine göre, 30 ayda bir altın veya bir bakır-kurşun-çinko-vb metal madenini keşfetmek; 24 üncü maddeye göre ise bir yıl içinde üretime geçirmek zorunda idi. Aksi takdirde ruhsatı iptali söz konusuydu.<sup>23</sup>

Bu durum ülkemizde metal madenciliğinin neden gelişmediğinin en önemli nedenlerinden birisidir. Zira dünya metal madenciliğinde özellikle altın, bakır, kurşun, çinko, nikel vb yeni bir rezervin keşfi ve üretime geçirilmesi için 15-20 yıl süreye ihtiyaç duyulmaktadır.<sup>24</sup>

Bu gerçekten yola çıkan altın madencileri, özellikle altın rezervlerinin keşfinde bu sürenin çok yetersiz olduğunu ifade ederek IV üncü Grup madenler için arama sürelerinin uzatılması gerektiğini, arama dönemi sonunda gerçek bir fizibilitenin yapılabilmesi için de en az üç sene süre verilmesini talep etmişlerdir. Bu talebin ne kadar doğru olduğu anlaşılmış ve ülkemizde IV üncü Grup madenler için arama süreleri üç yıldan toplamda yedi yıla çıkarılmış ayrıca fizibilite dönemi için de iki yıl süre verilmiştir.

Altın madenciliğinde aramadan- üretime geçinceye kadar geçen süre diğer madenlere göre fazla olup yatırımın geri dönüşü 15-20 yıl sonra mümkün olabilmektedir. Bu nedenle Türkiye’de madencilik kültürü ve finansman gücü yeterli olmayan yatırımcılar bu kadar uzun süre sonra geri dönüşü belki olabilecek, belki de olamayacak bir alana yatırım yapmaya sıcak bakmamaktadırlar.

## 10. ROL MODEL OLABİLECEK UYGULAMALAR

Ülkemizde son yıllarda yaşanan maden kazaları, maden yatağının rezervini üç boyutlu hale getirecek gerçek bilimsel verileri üretmeden yapılacak fizibilite ve üretim projelerinin ileride yatırımcıların başlarına ne gibi felaketler getirebileceğini göstermiştir.

Bu bağlamda, ülkemizdeki madencilik projelerinin (arama, fizibilite, işletme, zenginleştirme ve rehabilitasyon) dünyada gelişmiş ülkelerde kullanılan bilinen en iyi teknikler (best available technique) kullanılarak gerçekleştirilmesinin hem yatırımcılar, hem ülkemiz hem de çalışanlar bakımından çok önemli yararlar sağladığını uygulamada görmekteyiz.

Ülkemizde altın madenciliğinde hem bilimsel ve teknik seviye olarak, hem de iş güvenliği, işçi sağlığı, doğaya saygılı ve uluslararası standartların da üstünde madencilik kültürünü yansıtan pek çok madencilik projesi hayata geçirilmiştir. Yedi bin beş yüz kişiye doğrudan istihdam sağlanmıştır.

Ülkemiz, gerek altın üretimi ile ilgili geçmişte gerekse altın potansiyeli ve son 25 yılda gerçekleştirilen başarılı arama ve işletme projeleri sonucunda altın üretiminde önemli bir gelişme kaydetmeyi başarmıştır. Madenlerde üretilen saf olmayan Dore Altın külçeler İstanbul Altın Rafinerisi gibi uluslararası akredite rafinerilerde %99.995 saflıkta 24 ayar altın haline getirildikten sonra İstanbul Altın Borsası’nda satışı yapılarak piyasaya verilmektedir.

Ülkemiz dünyada önemli kuyumculuk ve mücevherat kültürüne sahip ender ülkelerden biridir. Türkiye altın madenciliğinde hammaddeyi metale, metali de katma değeri yüksek mücevherat ürünlerine dönüştürebilen ve bu sayede gerek istihdam, gerek katma değer gerek vergi, gerek ekonomiye katkı sağlama bakımından önemli bir ülke konumundadır. 2013 yılında ulaşılan 33,5 ton/yıl üretim seviyesi ile yıllık altın ihtiyacımızın %20’sini kendi kaynaklarından sağlayan bir ülke haline geldik. Türkiye’de altın madenciliğinde üretilen altının

%20'sine karşılık gelen miktarda devlete doğrudan ve dolaylı vergi ödenmektedir.

Altın madenciliği ile birlikte; arama projeleri uluslararası standartlara göre yürütülmeye başlandı. Çevreyi korumanın taahhüdü olan ilk çevresel etki değerlendirme (ÇED) projesi altın madenciliğinde uygulandı. Kaynak ve rezerv raporlamaları, analiz ve sondaj hizmetleri, fizibilite projeleri, muhasebe teknikleri, işçi sağlığı ve iş güvenliği uygulamaları uluslararası standartlara göre yapılmaya başlandı. Sektöre, yatırım ölçeği büyük projeler kazandırıldı. Borsaya kote şirket olmanın sorumluluğu gereği madencilik faaliyetlerinde şeffaflık ve hesap verilebilirlik anlayışı gelişti.

İşletmelerde “önce insan ve çevre” ilkesi ön plana çıktı. Madencilik faaliyetlerinde risk yönetimi, risk değerlendirmesi ve risk iletişimi uygulanmaya başlandı. İşletmeye geçmeden önce yöre insanlarıyla sosyal mutabakat sağlamaya yönelik önemli projeler gerçekleştirildi.

Çevre değerleri, halkla ilişkiler ön plana çıkmaya başladı. Altın madencileri sektörde en çok vergi ödeyenler sıralamasında ilk sıralarda yer aldı. Sektörde, çevre ve teknik düzeyi yüksek yatırımlara imza atıldı

Türkiye’de sondaj, analiz, maden makineleri sanayi, cevher hazırlama ekipmanları yapan firmalar altın projelerinde çok başarılı hizmetler vererek Türkiye’de edindikleri tecrübeleri yurtdışında da uygulama imkanı yakaladılar ve çok başarılı hizmetlere imza attılar.

Altın madenciliğinde, aramadan kapamaya kadar geçen sürecin her aşamasında gerçekleştirilen faaliyetleri uluslararası standartlarda yürütebilecek onlarca uzman yetişti. Altın madencileri ülkemizde metal madenciliğinde rol model olabilecek pek çok başarılı uygulamalar gerçekleştirilmiştir. (Aynı şekilde Çayeli Bakır projesi de pek çok başarılı uygulamayı gerçekleştirmiştir.)

Rezerv aslında ekonomik bir kavramdır ve altın fiyatlarına göre sürekli değişiklik göstermektedir. Bu nedenle altın madenciliğinde keşfedilen pek çok kaynağın ekonomik olarak işletilebilecek bir madene dönüşebilmesi altın fiyatlarına bağlıdır.

Diğer pek çok metalde olduğu gibi çıkarılan altının fiyatını altın üreticisi firma tarafından değil Londra ve New York Borsası tarafından belirlenmektedir. Bu fiyatların belirlenmesinde arz ve talep ne kadar önemli ise spekülatif hareketlerin de bir o kadar önemli olabileceği de gözden kaçmamalıdır.

## 11. TÜRKİYE’DE ALTIN MADENCİLİĞİNİN GELECEĞİ

Türkiye’de altın madenciliğinin geleceği, madencilikteki yüksek risk sermayesini kabul edecek güvenli bir yatırım ortamının yaratılması ve sürdürülebilirlik koşullarına tam uyum ile yakından ilgilidir.

Ülkemizde, altın madenciliğinde arama faaliyetleri 2012 yılından sonra hızla düşmeye başlamıştır. 2012 yılında 120 milyon dolar/yıl seviyesine ulaşan arama risk sermayesi harcamaları 2016 yılında büyük ölçüde azalarak 20 milyon dolar/yıl seviyesine gerilemiştir. Aramalardaki düşüş sektörün geleceği için çok ciddi bir tehlike yaratmaktadır. En azından her yıl üretilen altın kadar yeni altın rezervinin keşfedilmesi gerekir ki sürdürülebilirlikten bahsedilebilsin.

Madencilerin, diğer sanayiciler gibi her türlü altyapı hizmetlerini devlet tarafından kurulan organize sanayi bölgelerinde veya istediği herhangi bir yerde yatırım yapma lüksü bulunmamaktadır.

Ülkemizde özel koruma bölgelerinde, birinci, ikinci ve üçüncü sınıf tarım alanlarında, birinci derece sit alanlarında, milli parklarda, su havzalarında, muhafaza ormanlarında, yaban hayatı koruma bölgelerinde zeytin alanlarına 3 km mesafede madencilik faaliyeti yapılması söz konusu değildir.

Bu kısıtlanan alanlar dışındaki sahalarda yapılacak altın madenciliği ise bazı STK’lar ve yerel yöneticiler tarafından hedef alınarak yöre halkı yanlış yönlendirilmektedir. Bunun sonucunda, yatırımcı çeşitli zorluklar ile karşılaşmakta ve bazen de yatırımın önü tıkanmaktadır. Bu gibi durumlarda, maden ruhsatının sahibi durumundaki Bakanlık projeye sahip çıkarak bu tür engellerin

aşılmasına yardımcı olacak ortamları yaratması önem arz etmektedir.

Diğer yandan, kamu kurumlarının da madenciliği “altın yumurtlayan kaz” olarak görmesi madencilik projelerinin geleceğini karartmaktadır. Bu gibi kurumlar, sadece, madencilik yatırımlardan ne kadar çok gelir elde edebileceklerinin hesabıyla hareket etmektedirler. Her yıl daha da yükselen bu izin bedelleri yüzünden Türkiye kendi yeraltı kaynaklarını arayamaz ve değerlendiremez hale gelmektedir. Madenci aramalara, yatırıma ve üretime harcayacağı parasını izin bedellerine harcamak zorunda kalmaktadır.

### 11.1 Çözüm Bekleyen Diğer Önemli Sorunlar

Türkiye’de orman izin bedellerinin astronomik rakamlara ulaşması pek çok maden projesini yapılamaz hale getirmiştir. Balıkesir’de 642 hektarlık bir alanın 14 yıllık kira bedeli yaklaşık 400 milyon TL’yi bulmaktadır.

Zeytinlik alanlara 3 km mesafede atık, toz ve gaz çıkaran (konsantrasyon limitleri yok) tesis yapılamaz şeklindeki yasak Marmara Bölgesinden Hatay’a kadar çok geniş bir alanda tüm sanayi yatırımlarını engellemektedir. Zeytinlik alanların tanımı yapılarak, bu alanlara 3 km mesafede tesis yapımını engelleyen mevzuat kamu yararı dikkate alınarak atık, toz ve gaz limitlerinin ÇED sürecinde Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği hükümleri ile 2872 sayılı Çevre Kanunu uyarınca çıkarılmış diğer yönetmeliklerdeki katı, sıvı ve gaz konsantrasyon değerlerine göre izinlerin verilmesine imkan sağlayacak bir düzenlemeye ihtiyaç vardır.

Devletin yol, baraj, havaalanı vb yatırımlar için uygulanan acele kamulaştırma kararının kamu yararı kararı alınmış madencilik yatırımları için de uygulanması gerekir. Arazi mülkiyetinin çözümünde acele kamulaştırma kararı uygulanamaması arazi sahibi ile anlaşma sağlanamayınca bin bir emek ve para harcanarak keşfedilen madenler yeraltında atıl kalmaktadır. Arazi sahiplerine, cari bedellerin 5-10 katı bedel önerilmesine rağmen onlarca- yüzlerce vârisle anlaşma sağlamak çoğu zaman

mümkün olmamaktadır. Anlaşma sağlanamadığı için normal kamulaştırma davalarının yıllarca sürmesi nedeniyle madencilik yatırımları gecikmektedir. Bu süreç içinde olumlu pazar koşulları uçup gitmekte yatırım maliyetleri artmakta, ruhsatı elde tutmak zorlaşmaktadır.

Orman izinlerin çıkan yatırımcılar astronomik orman izin bedellerini ödeyemedikleri için izin taleplerini geri çekmektedirler. Orman izin bedelleri yüzünden Türkiye kendi yeraltı kaynaklarını arayamaz ve değerlendiremez hale gelmektedir. Madenci aramalara, yatırım ve üretime harcayacağı parasını izin bedellerine harcamak zorunda kalmaktadır.

Keşfedilen kaynakların ekonomik olarak işletilebilecek bir rezerve ve madene dönüşmesi altın fiyatlarına bağlıdır. Altın madenciliğinde en önemli faktörlerden birisi aramadan başlayarak üretim aşamasına gelene kadar çok ciddi oranda finans sermayesinin temin edilmesidir. Önümüzdeki yıllarda altın madenciliğinin önündeki en önemli engeller yatırım ortamının yatırımcıya güven vermemesi, mevzuat ile getirilen sınırlamalar, engeller ve işletme için izin verme durumundaki kamu kurumlarının yatırımcıdan karşılanamayacak ölçekte büyük bedeller talep etmesidir. Ne yazık ki bu faktörlerin tamamı da, günümüzde, olumsuz pozisyonunu korumaktadır.

Madencilik diğer sanayi dallarına benzemediğinden, yatırımlar bir kez durduğunda yeniden canlandırmak için çok uzun sürelere ihtiyaç olacaktır. Bu olumsuz durum karşısında bir diğer can alıcı kayıp da yetişmiş yerli uzmanların başka sektörlere kayması sonucunda yatırım koşullarının düzeldiği zamanda yeterli sayıda teknik eleman temin edilememesi olacaktır.

## 12. SONUÇ

Anadolu maden kaynakları bakımından zengin olmasaydı 44 medeniyete ev sahipliği yapamazdı. Dünyada ilk altın ayarlı sikkelerin ilk bu topraklarda basıldığını unutmamalıyım. Biz farkında olmasak da Türkiye dünyada önemli altın potansiyeline sahip ilk 10 ülke arasında gösterilmektedir.

Son 25 yılda altın madenciliğine yaklaşık 3 milyar dolarlık yatırım gerçekleştirilmiştir. Bugün üretimde olan altın madenlerinin çoğu ülkemize son 25 yılda gelen ve yıllardır arama projelerini yürüten yabancı sermayeli Türk şirketler tarafından keşfedilen yataklardır. Keşfedilen madenleri ekonomiye kazandırmak için ülkemizde uluslararası standartların da üstünde madencilikte rol model olabilecek modern maden işletme yatırımları gerçekleştirilmiştir.

Son 22 yılın ortalamasına bakıldığında Türkiye yılda 150 ton altın ithal eden ve karşılığında, fiyatlara bağlı olarak altın ithalatına yılda 6-8 milyar Dolar ödeyen bir ülke konumundadır. Gerçekleştirilen 3 milyar Dolarlık yatırımlar sayesinde 2013 yılında ulaşılan 33,5 ton/yıl üretim seviyesi ile yıllık altın ihtiyacımızın %20'sini kendi kaynaklarından sağlayan bir ülke haline gelmiştir.

Türkiye, altın madenciliğinde kendi potansiyelini keşfedip madenlerden çıkardığı hammaddeyi metale, metali de katma değeri yüksek mücevherat ürünlerine dönüştürebilen ve bu sayede ekonomimize sağladığı istihdam, katma değer, vergi bakımından önemli bir başarıya imza atmıştır. Önemli olan bu başarılı modeli kesintiye uğratmadan geliştirerek sürdürebilmektir. Altın madenciliğinin geleceği aramalara harcanana risk sermayesinin miktarı ve rasyonel uygulamalar ile doğrudan ilgilidir. 2012 yılında aramalara harcanan risk sermayesi 120 milyon \$/yıl seviyesine çıkmış idi. Bu tarihten sonra izin almada yaşanan belirsizlikler nedeniyle aramalara harcanan risk sermayesi sürekli azalmış ve 2016 yılında 20 milyon \$/yıl seviyesine düşmüştür. Bu durum sektördeki belirsizlik şartlarının hala devam ettiğini göstermektedir.

Altın madenciliğinde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için Haziran 2012'den önce olduğu gibi kanun ve yönetmeliklerdeki izin almak için gerekli şartları yerine getiren herkesin madencilik faaliyetleri için alınması gereken zorunlu izinleri alabilmesi gerekmektedir.

Madencilikte izinlerin alınmasında belirsizliklerin devam etmesi, yatırım ortamına duyulan güvenin ortadan kalkmasına neden olmuştur. Son 25 yılda, Türkiye'de maden aramalarına en çok risk sermayesi harcayan altın madenciliğinin geleceği için madencilikte yatırım ortamına duyulan güveni ortadan kaldıran uygulamaların bir an önce giderilmesi gerekmektedir. Yatırımcıya ne kadar güven sağlanırsa madencilikte o kadar gelişme sağlayabiliriz.<sup>25</sup>

## KAYNAKLAR

- 1 Yalçın, Ü., 2003, Anadolu Madenciliği: ArkeoAtlas, Sayı 2, s. 72-79.
- 2 Kaptan, E., 1990, Türkiye Madencilik Tarihine Ait Buluntular: MTA Dergisi, cilt 111, s.175-186.
- 3 Akurgal, E., 1997, Anadolu Kültür Tarihi, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, no 67, s. 15-34
- 4 Alp, S., 2000, Hitit Çağında Anadolu, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, no 140, s. 66.
- 5 Strabon, 2000, Geographika (Antik Anadolu Coğrafyası), Arkeoloji ve Sanat yayınları, 4. Baskı, Kitap XIV.5, Paragraf 28, s.273-274.
- 6 Strabon, 2000, Geographika (Antik Anadolu Coğrafyası), Arkeoloji ve Sanat yayınları, 4. Baskı, Kitap XIII.1, Paragraf 23, s.108-109.
- 7 Hauptmann, A. ve Klein, S., 2009, Bronze age gold in southern Georgia: ArcheoSciences, cilt 33, s.75-82  
(<http://archeosciences.revues.org/2037?lang=en>)
- 8 Zeki Tez, 2012, Madencilik, Metalurji ve Mineralojinin Çileli Tarihi, Doruk Yayıncılık, s. 112.
- 9 Herodotos, 1991, Herodot Tarihi, Remzi Kitabevi, 3. Baskı, I. Kitap: Klio, Paragraf 93, s. 46.
- 10 Herodotos, 1991, Herodot Tarihi, Remzi Kitabevi, 3. Baskı, I. Kitap: Klio, Paragraf 50, s. 30.
- 11 Strabon, 2000, Geographika (Antik Anadolu Coğrafyası), Arkeoloji ve Sanat yayınları, 4. Baskı, Kitap XIII.4, Paragraf 5, s.170.
- 12 Oygür, V., 1990, Altın Madenciliğinin Yeniden Doğuşu, Jeoloji Müh. Derg., No 37, Sf. 17-22.
- 13 Oygür, V., 1996, Dünya Altın Madenciliği ve Türkiye'nin Altın Potansiyeli, Jeoloji Müh. Derg., No 49, Sf. 55-62.
- 14 World Gold Council, 2017 February, Gold Demand Trends Full Year 2016.

- 15 Oygür, V., 2000, Altın Madenciliğinde Siyanür Kullanımı, Jeoloji Müh. Derg., No 24 (1), Sf. 111-127.
- 16 Kartalkanat, A., 2014, Bolkar Dağlarındaki Eski İşletmeler Vadisinde Yeni Yaş Bulguları ve İlk Maden Ruhsatı: Yazılıtaş (Niğde); Türkiye Jeoloji Bülteni, cilt 57, Sayı 2, s. 53-71.
- 17 T.C. Resmi Gazete, 27/5/1933, Sayı 2411, Kanun No 2189.
- 18 Larson, L.T., 1989, Geology and Gold Mineralization in Western Turkey, Mining Engineering, November 1989, sf. 1099-1102.
- 19 Karadeniz, M., 2016,” Altın Bir Yılan Hikayesi, Sf.39, Cinus Yayınları
- 20 Erler, A., Türkiye Altın Potansiyeli ve Maden Kaynaklarını Kestirme Yöntemleri, ODTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 1997.
- 21 Köse,M., 2013, Uluslararası Madencilik Göstergelerinin Neresindeyiz? Madencilik Türkiye Sayı 28, Sf 46-49
- 22 [www.altinmadencileri.org.tr](http://www.altinmadencileri.org.tr)
- 23 3213 Sayılı Maden Kanunu
- 24 [www.nrcan.gc.ca/mining-materials/mining/responsible-mineral-development](http://www.nrcan.gc.ca/mining-materials/mining/responsible-mineral-development)
- 25 Köse ,M, & Oygür, V; 2015, 24. Madencilikte ne kadar dışa bağımlıyız? 24.Uluslararası Madencilik Kongresi- Sf 17-26, Antalya

# Yerüstü Macun Malzemenin Farklı Depolama Tasarımlarındaki Kayma Dayanımı Davranışlarının İncelenmesi

## *The Investigation of the Shear Strength Behaviours of Surface Paste Material in Different Storing Designs*

A. Başçetin, S. Tüylü, D. Adıgüzel

*İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

**ÖZET** Günümüzde gelişen teknolojiyle beraber daha düşük tenörlü cevherlerin işletilmesi nedeniyle daha fazla miktarda ve çok ince tane boyutunda artık malzeme oluşmaktadır. Bu maden artıkları genellikle büyük çoğunluğu sudan oluşan (pülpte katı oranı %20-35) çamur şeklinde artık barajlarına deşarj edilir. İnce taneli maden artıkları, fiziksel özellikleri açısından suya doygun olduğunda ve basınca maruz kaldığında çevresini fiziksel ve kimyasal boyutlarda yıkıcı bir etkiye maruz bırakabilecek özellikte çamur akışlarına neden olabilirler. Artık barajlarındaki kazalar, madencilik faaliyetlerinde meydana gelen çevresel olayların önemli bir kısmını oluşturduğu için depolanan artıkların fiziksel stabilitesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Türkiye'nin batısında yer alan Pb-Zn yeraltı madenine ait cevher zenginleştirme artıkları kullanılmış ve yerüstünde macun malzeme olarak depolanmasında oluşan jeoteknik davranışları kayma dayanımı açısından araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Maden artıkları, yerüstü macun depolama yöntemi, stabilizasyon, çevresel risk, kayma dayanımı.

**ABSTRACT** Nowadays, as a result of developing technology, much more and finer tailings are arised due to operating ores with lower grade. These mine tailings with high water content (20-35% solid-in-pulp ratio) are usually discharged to tailing ponds in mud formation. In terms of their physical properties, when the fine mine tailings are saturated to water and exposed to pressure, they can cause mud flows which can create a destructive effect to environment in a physical and chemical way. Because of the accidents in the tailing ponds form an important part of the accidents in mining operations, the physical stability of the stored tailings has a significant role. In this study, the mineral processing tailings which belongs to a Pb-Zn underground mine located in the western Turkey was used and its geotechnical behaviors during the storing as surface paste material was investigated in terms of share strength.

**Keywords:** Mine tailings, surface paste storage management, stabilization, environmental risk, share strength.

### 1 INTRODUCTION

Artık malzeme madencilik faaliyetlerinin doğal bir sonucudur. Artık malzeme öğütülmüş ince taneli bir granülometriye ve belli bir su içeriğine sahiptir. Bu formdaki artıkların artık barajlarında geleneksel yöntemlerle depolanması özellikle güvenlik

ve çevresel hususlar açısından tehlikeler ve riskler barındırmaktadır. Macun teknolojisi geleneksel şlam tipi artık yöntemlerine göre başarılı bir alternatif teşkil etmektedir. Yüksek yoğunlukta veya çok az su içeren kek kıvamındaki malzeme, başka bir deyişle macun, özellikle 1995 yılından bu yana

çevresel ve ekonomik faydalarından ötürü hızla gelişmekte ve rağbet görmektedir. Macun malzeme geleneksel şlam tipine göre çok daha stabildir. Yerüstünde depolandığı uygulamalarda malzeme üzerinde gölet oluşumu görülmez (Meggyes ve Debreczeni, 2006).

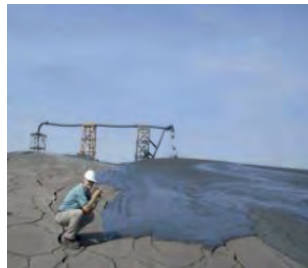
Geleneksel yöntemlerde, artık malzemenin depolanacağı yerde oluşacak topoğrafik koşullar için çeşitli kontrol ve muhafaza mekanizmalarını kapsayıcı büyük bir inşaaşaması gerekmektedir. Macun teknolojisinde ise, malzemenin kendisi depolanacağı bölgenin doğal koşullarına uyum sağlayacak şekilde tasarlanır. Geleneksel bir bertaraf yöntemi olan artık barajları, son derece gevşek ve tam olarak konsolide olamamış yüksek su içeriğine sahip artık malzemelerini barındırır. Çevresel faciaların asıl sebebi barajın kendisi değil, barındırdığı malzemenin bu tehlikeli karakteristiğidir. Böyle bir malzeme bir sızıntı veya yenilme durumunda kolayca sıvılaşarak geniş alanlara yayılabilmektedir. Avrupa'nın en büyük çevresel felaketlerinden bir tanesi olan Stava (1985, İtalya) faciasında 250 bin metreküp artık saatte 90 kilometreye varan bir hızla kilometrelerce akarak yoluna çıkan köyleri yok etmiş, 268 insanın hayatını kaybetmesine neden olmuştur (Chandler ve Tosatti, 1995).

Geleneksel yöntemde artık barajına bırakılan malzemenin çok gevşek yapıda olmasının sebebi bir su göleti içerisine bırakılması ve malzemenin tabana inerek kaldırma kuvveti etkisiyle ağırlığının %50'sini kaybederek göl çamurları gibi zayıf bir yapı meydana getirmesidir. Böyle bir yapının sıvılaşması için çok fazla bir kuvvet gerekmemektedir (Andrews ve Martin, 2000).

Yerüstü macun teknolojisinin amaçlarından biride kendi kendini taşıyabilen artık tepeleri oluşturarak baraj gereksinimini minimize etmektir (Şekil 1).



a) Macun artık tepesi



b) Macun malzeme yayılımı

Şekil 1. Yerüstü macun depolama yönteminin artık sahası görünümü (Theriault ve diğ., 2003)

Depolanan macun malzemenin istenilen özelliklerde oluşturulabilmesi için artığın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak jeomekanik açıdan geliştirilmesi (su içeriğinin azaltılması, çimento ya da bağlayıcı katkısı, v.b.) bu konudaki en önemli çalışmaların başında gelmektedir (Meggyes ve Debreczeni, 2006; Spiers, 2010). Bu çalışmada, laboratuvar ortamında farklı tasarımlarda depolanan macun malzemenin, yanal yüke maruz kaldığında ortaya çıkabilecek deformasyon sonucu oluşan kayma dayanımları tespit edilerek jeomekanik davranışları incelenmiştir.

## 2 MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1 Malzeme

Çalışma sahasından alınan Pb-Zn proses artıklarının fiziksel, kimyasal ve jeoteknik özellikleri laboratuvar ölçümleri ve analizleri yapılarak belirlenmiştir. Buna göre macun artık malzemesinin jeoteknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Macun artık malzemesinin fiziksel ve jeoteknik özellikleri

Parametre	Değer
Özgül ağırlık	3,15
Spesifik yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	3,698
Porozite (%)	53
D <sub>10</sub> (µm)	2,83
D <sub>30</sub> (µm)	11,48
D <sub>50</sub> (µm)	33,17
D <sub>60</sub> (µm)	45,71
D <sub>90</sub> (µm)	170
*Üniformluk katsayısı, $C_U$	16,15
*Eğrilik katsayısı, $C_C$	1,02
Likit limit (%)	18,40
Plastik limit (%)	16,78
Optimum su muhtevası (%)	10,07
Maks. kuru birim hacim ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2,18
Permeabilite katsayısı (cm/sn)	$4,3 \cdot 10^{-6}$

\* Üniformluk katsayısı ( $C_U = D_{60}/D_{10}$ )

\* Eğrilik katsayısı ( $C_C = (D_{30})^2/(D_{60} \cdot D_{10})$ )

Macun karışımlarının tane boyut dağılımlarında istenen 20 µm'dan daha ince tane oranı en az %15 olması gerekliliği, yapılan tane boyut dağılımı analizinin sonucuna göre %41,94 olarak belirlenmiştir. Artık malzemesinin tane boyut dağılımı TS

1500 standardına göre %8'i kil, %72'si silt ve geriye kalan %20'lik kısmı ince kum boyutlarından oluşmakta ve TS EN ISO 14688-2 standardına göre homojen bir dağılıma sahip "çoklu dağılım" sınıfına girmektedir (Tüylü, 2016).

Birleştirilmiş zemin sınıflama sisteminde yer alan plastisite kartına göre, artık malzemesinin düşük plastisiteli silt (ML) sınıfına girdiği belirlenmiştir. Ayrıca tane boyut dağılımının %72'si silt boyutunda olması bu zemin sınıfına ait olduğunu göstermiştir. Killere göre siltli malzemeler daha düşük kohezyon göstermekte ve sıvılaşma riski taşımaktadırlar. Ayrıca malzemenin bu özelliği öncelikli olarak bir zemin davranışı gösterdiği ve malzeme üzerinde zemin standartlarının uygulanabileceğini göstermektedir. Buda özellikle macunun mekanik davranışının belirlenmesinde büyük kolaylık sağlayacaktır.

Artık malzemesinin modifiye proktor deneyi sonuçlarına göre optimum su muhtevası %10 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı  $2,18 \text{ gr/cm}^3$  bulunmuştur. Modifiye proktor deney sonuçlarına göre belirlenen optimum su muhtevasındaki artışın permeabilite (hidrolik geçirgenliği) katsayısı  $4,3 \times 10^{-6} \text{ cm/sn}$  olarak belirlenmiştir (Tüylü, 2016).

Söz konusu atık malzemenin XRD analiz sonuçlarına göre artıkların mineralojik kompozisyonu aşağıda yer alan minerallerden oluşmaktadır (Başçetin ve diğ., 2015);

1. Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ )
2. Kuvars ( $\text{SiO}_2$ )
3. Feldspat grubu mineraller (Albite= $\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$ )
4. Pirit ( $\text{FeS}_2$ )
5. Kil grubu mineraller
6. Mika grubu mineraller olarak belirlenmiştir.

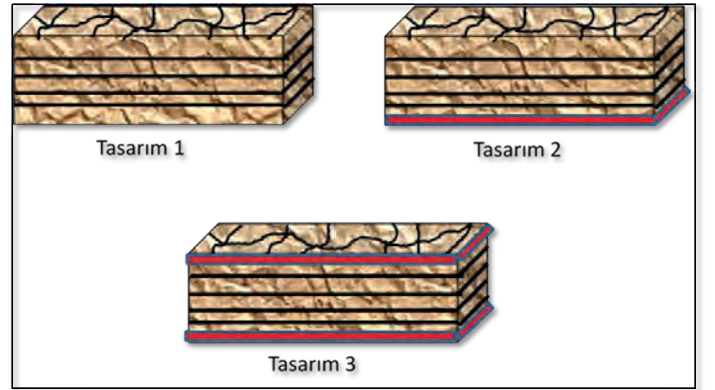
## 2.2 Yöntem

Yeryüzünde macunun depolanabilir olması için oluşturulan atık, su ve bağlayıcı karışımının çökme ya da kıvam (slamp) değeri 25 cm (10") olmalıdır (Benzaazoua ve diğ., 2004). Mekanik testler kapsamında macun malzemenin stabilitesini belirlemek amacıyla kayma dayanımı belirlenmiştir. Tabakalar halinde depolanan malzemedan karot örnekleri alınarak laboratuvar ortamında mekanik testlere tabi tutulmuştur.

Malzemenin üzerine gelen yükler, deformasyonların kabul edilemeyeceği düzeyde olursa malzeme üzerine gelen yük sayesinde yenilmiş olmaktadır. Bu durum da

malzemenin yenilme dayanımını ifade etmektedir. Çalışma kapsamında malzemenin stabilizasyon bilgileri için yanal yükler uygulanarak kayma dayanımından yararlanılmıştır. Macun malzemenin kayma dayanımı TSE CEN ISO/TS 17892-10 ve TS 1900-2 standartlarına göre direk kesme kutusu deneyi yapılarak belirlenmiştir.

Macun malzemenin üç farklı depolama tasarımları esas alınarak yapılan çalışmalar "döküm süreci", "ıslama-kuruma süreci" ve "jeomekanik testler (kesme dayanımı ve oturma oranı)" olmak üzere üç aşamada tamamlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Farklı konfigürasyonların yer aldığı test kabin tasarımları (Tüylü, 2016).

Farklı yerüstü macun depolama tasarımlarına sahip  $200 \times 70 \times 50 \text{ cm}$  boyutlarındaki deney kabinlerine her bir tabakanın kalınlığı 4 cm olan macun malzeme toplamda 11 tabaka halinde dökülmüştür. Tasarım 1'de bağlayıcı malzeme kullanılmadan tabakalar üst üste dökülmüştür. Tasarım 2'de sadece en alt tabaka katı malzemenin ağırlıkça %2'sini oluşturacak şekilde çimento katkılı olarak dökülmüş ve Tasarım 3'te ise en alt ve en üst tabaka çimentolu macun malzemedan dökülerek oluşturulmuştur. Toplam 11 tabaka için depolama döküm süreci 88 gün, ıslanma kuruma süreci 232 gün sürerek toplamda 320 gün sonunda kabinden örnekler alınarak kayma dayanımı tayini için deneyler yapılmıştır (Tüylü, 2016).

Kabin içerisinde tabakalar halinde depolanan macun malzemenin tabaka yüksekliklerine göre üzerine gelen yükler farklılık göstermektedir. Bu yüklerle göre de macun malzemenin sıkışabilirliği ve buna bağlı olarak stabilizasyon değerleri değişmektedir. Farklı tabakalardaki malzemenin jeomekanik davranışını belirlemek için farklı derinliklerden örnekler alınmıştır. Dolayısıyla mekanik testler için kabin yüksekliği yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla, 0 cm - 15 cm (üst), 15 cm - 30 cm (orta) ve 30 cm - 44 cm (alt) şeklinde

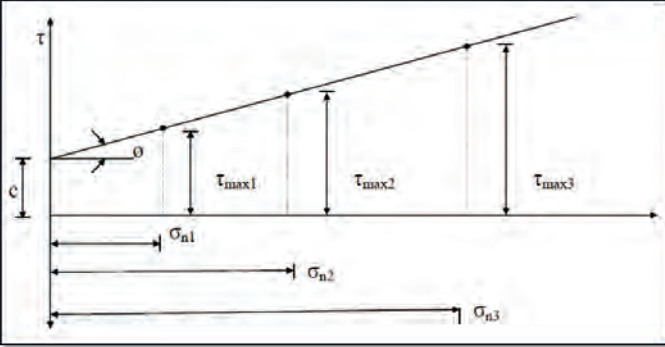


sınıflandırılmış ve daha sonra mekanik testler için numuneler alınmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Mekanik testler için numune alım işlemi (Tüylü, 2016)

Kesme kutusu deneyinde her bir normal yük (2, 6, 12 kg) için ayrı ayrı kesme gerilmeleri elde edilir. Bunu takiben, elde edilen kesme (kayma) gerilmelerinden maksimum kesme gerilmesi (her bir normal yük için ayrı ayrı) belirlenir ve bu değerlere bağlı olarak kırılma zarfı çizilir (Şekil 4).



Şekil 4. Kesme kutusu deneyinde c ve φ'nin belirlenmesi (Güzel, 2005)

Kesme kutusu deneyi sonucunda belirlenecek kesme (kayma) direnci, zeminler için kaymaya yol açan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini göz önüne alan Mohr-Coulomb hipotezinin (Eşitlik 1) kullanılması sonucunda elde edilen φ ve c parametreleri yardımı ile bulunur (Uzuner, 1998; Güzel, 2005).

Kayma direncini veren bağıntı ise şöyledir:

$$\tau = c + \sigma_n \times \tan\phi \quad [1]$$

$\tau$  = Kayma direnci (kg/cm<sup>2</sup>)

c = Kohezyon (kg/cm<sup>2</sup>)

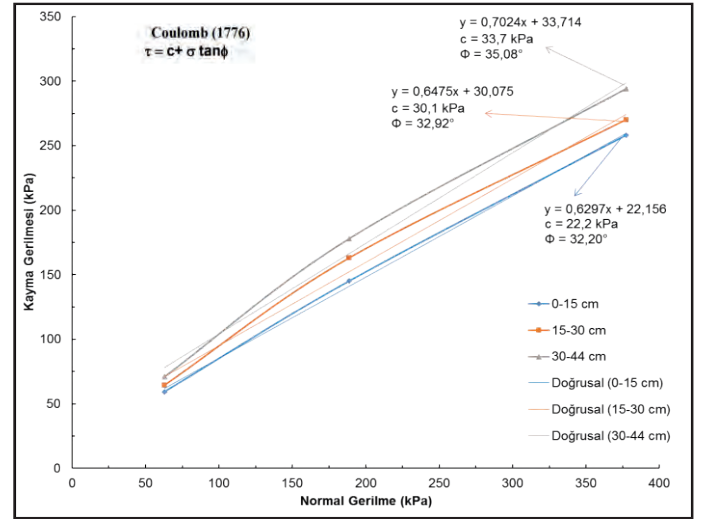
$\sigma_n$  = Kayma yüzeyine etkiyen normal gerilme (kg/cm<sup>2</sup>)

$\phi$  = İçsel sürtünme açısı (kayma direnci açısı, °)

### 3 BULGULAR

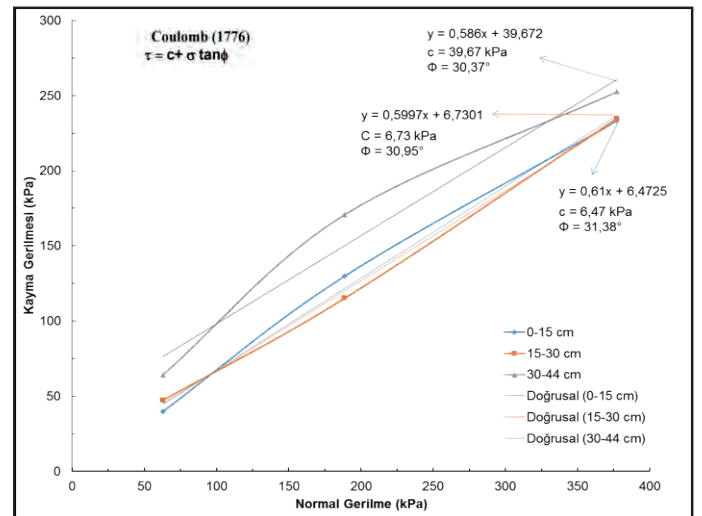
Kabinin farklı yüksekliklerinden numunelere (0-15 cm, 15-30 cm, 30-44 cm) göre belirlenen kohezyon ve içsel sürtünme açısı

değerleri Tasarım 1 için Şekil 5'te, Tasarım 2 için Şekil 6'da ve Tasarım 3 için ise Şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 5. Tasarım 1 için farklı tabakalarda belirlenen kayma gerilmeleri

Şekil 5'ten de görüldüğü gibi kendi ağırlığında konsolide olan alt tabakaların taneleri arasındaki boşlukların giderek azalması bu tabakalardaki kohezyon değerlerinin arttırarak jeomekanik açıdan daha stabil bir yapı oluşmasını sağlamıştır. Buna göre ilk 3 tabakanın (30 cm - 44 cm arası) ortalama kohezyon değeri ~34 kPa, içsel sürtünme açısı 35,08°, 4. ve 7. tabakaların arası (15 cm - 30 cm) ortalama kohezyon değeri ~30 kPa, içsel sürtünme açısı 32,92° ve kabinin üst kısımlarında yer alan 8. ile 11. tabakalar arası (0 cm - 15 cm) ise ortalama kohezyon değeri ~22 kPa, içsel sürtünme açısı 32,2° olarak bulunmuştur.

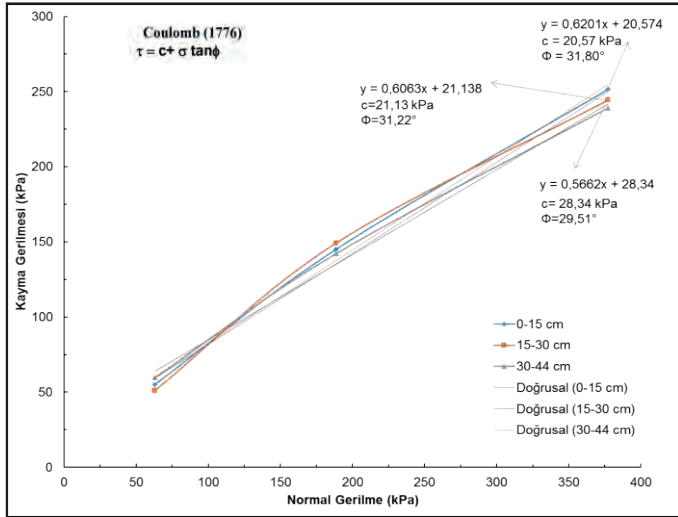


Şekil 6. Tasarım 2 için farklı tabakalarda belirlenen kayma gerilmeleri

Tasarım 2'de üst ve orta tabakaların kohezyonlarının çok düşük olduğu Şekil 6'da görülmektedir. Buna karşın alt tabakaların

yanal kuvvetler karşısında yüksek direnç sağladığı ve ~40 kPa kohezyon değerini yakaladığı ölçülmüştür. Ancak orta ve üst tabakalara ait kohezyon değerleri alt tabakalara göre çok düşük olan ~6,5 kPa olarak ölçülmüştür. Bu durum, Tasarım 2'deki en alt tabakanın çimento katkılı olması dolayısıyla üst tabakaların daha doygun kalmasını sağladığı ve bununla beraber bu tabakalarda gevşek bir yapı oluştuğu anlaşılmaktadır. Tasarım 2'de içsel sürtünme açısının ~31° olduğu ve bu değer her üç derinlik içinde değişmediği belirlenmiştir.

Tasarım 2'deki orta ve üst tabakalardaki düşük dayanımın, Tasarım 3'teki en üst tabakanın çimentolu olması ile iyileştirildiği ve bu tabakalardaki kohezyon değerlerinin arttırıldığı Şekil 7'de görülmektedir. Tasarım 3'teki çimento katkılı en üst tabakanın kılcal çatlaklı yapıda olması nedeniyle kapiler su akışının oluştuğu ve efektif gerilmeyi arttırdığı düşünülmektedir.



Şekil 7. Tasarım 3 için farklı tabakalarda belirlenen kayma gerilmeleri

Tasarım 3'ün orta ve üst tabakalarının kohezyon değerleri ~21 kPa olarak ölçülmüş ve en alt tabakalara doğru diğer tasarımlarda olduğu gibi kohezyon değerinin arttığı belirlenmiştir (Şekil 7).

#### 4 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Balıkesir bölgesinde Pb-Zn konsantresi elde etmek amacıyla kurulan cevher zenginleştirme tesisinin artıkları, macun formunda yerüstünde depolanabilmesi için farklı tasarımlara göre simüle edilmiştir. Laboratuvar ortamında deney kabinlerinde depolanan macun artık malzemesinin stabilizasyon problemlerini değerlendirebilmek ve kayma dayanımı belirlemek için doğrudan kesme kutusu

deneyi yapılmıştır. Bu deneyin sonuçları özet olarak Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Üç tasarımın farklı tabaka derinliklerindeki kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri

Kabin tasarımlar	Tabaka derinlikleri (cm)	Kohezyon (c)	İçsel sürtünme açısı (φ)
Tasarım-1	0-15 (üst)	~22 kPa	32.2°
	15-30 (orta)	~30 kPa	32.92°
	30-44 (alt)	~34 kPa	35.08°
Tasarım-2	0-15 (üst)	~6,5 kPa	31,38°
	15-30 (orta)	~6,5 kPa	30,95°
	30-44 (alt)	~40 kPa	30,37°
Tasarım-3	0-15 (üst)	~21 kPa	31,80°
	15-30 (orta)	~21 kPa	31,22°
	30-44 (alt)	~28,5 kPa	29,51°

Macun malzemenin kayma dayanımı sonuçlarına göre genel olarak üç tasarımın 30 cm derinlikten sonra kohezyon değerinin 28 kPa'nın üzerine çıktığı görülmektedir (Tablo 2). Bununla birlikte üç farklı tasarımda da depolanan macun malzemenin ortalama içsel sürtünme açısı ~31,71° olarak hesaplanmıştır. Erol ve Çekinmez'in (2014) çalışmalarında daha önce belirtmiş oldukları düşük plastisiteli (ML) grubunda yer alan sıkıştırılmış kohezyonlu zeminlerin efektif kayma direnci açılarının 32° olduğu ifadesi ile uyumluluk gösterdiği belirlenmiştir.

Ayrıca Tasarım 2 ve Tasarım 3'ün Tasarım 1'e göre tabakalarının daha doygun kalması sonucu tabaka içerisindeki su taneler arasında hareketi kolaylaştırmış ve kohezyon değerlerini düşürmüştür. Bu üç tasarım arasında, sızıntı suyu deşarjı daha verimli olan Tasarım 1'in buna bağlı olarak efektif gerilmelere daha fazla maruz kaldığı ve kohezyon değerlerinin dolayısıyla artış gösterdiği düşünülmektedir. Ancak iklim koşulları ve macun malzeme yüzey çatlakları dikkate alındığında, Tasarım 1 ve Tasarım 2'de bölgesel yağışların Tasarım 3'e göre daha geniş olan yüzey çatlaklarından girerek göçüklere neden olabileceği ve bu durumun da stabilizasyon sonuçlarını doğrudan etkileyeceği değerlendirilmiştir. Tasarım 3'te ise en üst tabakanın çimento katkılı olmasından dolayı yüzey çatlaklarının minimize edilmesi ile bu durumun önüne geçilebileceği ifade edilebilmektedir.

Sonuç olarak pb-zn artıkları, macun teknolojisinde kullanılarak yerüstünde depolanabilirliği, kendi ağırlığında konsolide olan alt tabakaların kohezyon değerlerinin diğer tabakalara göre fazla olduğu ve alt

tabakaların üzerine gelen yükler karşısında stabilitesini koruyabileceği yapılan deney sonuçlarına göre yorumlanmıştır.

## KAYNAKLAR

Andrews, D.C.A. and Martin, G.R., (2000), "Criteria for liquefaction of silty soils", *12th World Conference on Earthquake Engineering, Proceedings*, Auckland, New Zealand.

Başçetin A., Özdemir O., Tüylü S., Adigüzel D., (2015), "Metal Madenlerinden Üretilen İnce Taneli ve Sülfürlü Atıkların Yerüstünde Güvenilir Olarak Depolanabilirliğinin İncelenmesi", *Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi*, Antalya, Türkiye, 14-17 Nisan 2015, vol.1, no.1, pp.1028-1034.

Benzaazoua, M., Perez, P., Belem, T., Fall, M., (2004), "A laboratory study of the behaviour of surface paste disposal", *Proceedings of the 8th International Symposium on Mining with Backfill*, Beijing, China, September 19–21, pp. 180–192.

Chandler, R. J. and Tosatti, G., (1995), "The Stava tailings dam failure", Italy, July 1985, *Geotechnical Engineering*, 113, 67–79.

Erol, A.O. ve Çekinmez, Z., (2014), "Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri", Yüksel Proje Yayınları No: 14 -01. Ankara.

Güzel, H., (2005), "Evaporitik Mineraller İçeren Killi Zeminlerin Jeoteknik Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

Meggyes, T. and Debreczeni, A., (2006), "Paste technology for tailings management", *Land Contamination & Reclamation*, 14 (4), 2006 EPP Publications Ltd.

Spiers, J., (2010), "Rheological and Geotechnical Characteristics" *Seminar 16-17 November 2010: Treatment methods for mine tailings*, Luleå, Sweden.

Theriault, J., Frostiak, J., Welch, D., (2003), "Surface disposal of paste tailings at the Bulyanhulu gold mine", *Proceedings of the 2nd Mining Environment Conference*, Sudbury, Ontario, pp. 1-8.

TS 1500, (2000), "İnşaat mühendisliğinde zeminlerin- Sınıflandırılması", Türk Standartları Enstitüsü.

TS 1900-2, (2006), "İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini", Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN ISO 14688-2, (2004), "Jeoteknik Araştırmalar ve Deneyler - Zeminlerin Tanımlanması ve Sınıflandırılması - Bölüm 2: Sınıflandırma İlkeleri", Türk Standartları Enstitüsü.

TSE CEN ISO/TS 17892-10, (2007), "Geoteknik etüt ve deneyler- Zemin laboratuvar deneyleri- Bölüm 10: Doğrudan kesme deneyi", Türk Standartları Enstitüsü.

Tüylü, S., (2016), "Maden Tesis Atıklarının Yerüstünde Depolanmasında En Uygun Tasarım Koşullarının Belirlenmesi", Danışman: Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN, II. Danışman: Prof. Dr. Mostafa BENZAAZOUA, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Ocak 2016, 195 Sayfa.

Uzuner, B.A., (1998), "Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği", Teknik Yayınevi, Ankara, 376s.

# Sürdürülebilir Enerji Stratejisinde Yeni Linyit Rezervlerinin Elektrik Üretim Kapasitesi Potansiyeli

## *Potential of Electric Power Capacity for New Lignite Reserves in Sustainable Energy Strategy*

T. Mallı

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir*

**ÖZET** Günümüzde sürdürülebilir bir kalkınma, enerji kaynaklarının stratejik bir planlama ile yerli kaynak potansiyelinin olabildiğince artırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Stratejik anlamda, enerji tedariki ve elektrik üretiminin güvenilir bir şekilde uygun maliyetli olarak sürekliliğinin sağlanabilmesine dayanır. Bu nedenle, ülkemiz enerji kaynaklarının özellikle yerli kömürlerin öncelikli olarak maksimum verimde ve ekonomik şekilde değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. 2016 yılında 270030 GWh seviyesine ulaşan elektrik üretiminin; % 16,13'ü yerli kömürden sağlanmıştır. 2016 yılında 78592 MW'a ulaşan toplam kurulu gücün yaklaşık % 12,52'sini yerli kömüre dayalı termik santraller oluşturmaktadır.

Yerli kömürlerin elektrik üretiminde kullanımının geliştirilmesi ve dönüşümünde; enerji arz güvenliği, enerji dengesi, maliyet ve çevresel sürdürülebilirlik gibi temel faktörlerin optimize edilmesi önemlidir. Bu çalışmada; yeni keşfedilen ve geliştirilen linyit kömür rezervlerinin elektrik üretiminde termik santral kurulu güç kapasitesi olarak yaklaşık 35000 MW'lık potansiyel öngörülmektedir.

**ABSTRACT** Nowadays sustainable development is realized by maximizing the potential of domestic resources with strategic planning of energy supply. In a strategic sense, it is necessary to ensure the continuity of energy supply and generation of electricity at a reliable and cost-effective level. Therefore, it is important that Turkey's energy resources are evaluated priority in terms of maximum efficiency and economic savings, especially for domestic coal. In 2016, electricity generation reached 270030 GWh and 14% of this production provided from domestic coal. Approximately, 12,52% of the total installed power of 78592 MW is based on domestic coal-fired thermal power plants.

The improvement of the utilization of domestic coal in electricity generation; it is important to optimize key factors such as energy security, energy balance, cost-effective and environmental sustainability. In this study, it is predicted that the discovered lignite coal reserves can be transformed into the thermal power plant potential of 35000 MW.

## 1 GİRİŞ

2016 yılında Türkiye elektrik üretiminin yaklaşık üçte biri kömürden sağlanırken bu oranın %16,07'si yerli kömür kaynaklarının kullanımıyla sağlanmıştır. 2015 yılına göre;

261783 GWh düzeyindeki elektrik üretimi, 2016 yılında 270030 GWh'e yükselmiştir. Elektrik üretiminde yerli kömür kullanımı % 13,82'den %16,13 düzeyine yükselmiştir.

2016 yılında 78592 MW'a ulaşan toplam kurulu gücün yaklaşık % 12,52'sini (9842 MW) yerli kömüre dayalı termik santraller

oluşturmaktadır. Genel olarak ülkelerin ekonomik gelişmişlik düzeyini gösteren indikatörlerden; kişi başı elektrik tüketimi de artarak 3373 kWh'e ulaşmıştır. Kömürün toplam enerji talebi içindeki payı % 29.1 ile artmış olsa da yerli kömür payı %16,13 ile ithal kömür payının gerisindedir. Bu nedenle, enerji stratejisinde ithalattan kaynaklanan risklerin azaltılması için yerli kömür kullanımının artırılması hedeflenmektedir.

Dünya kömür rezervinin yaklaşık % 2'si Türkiye'de bulunurken bunun önemli bölümünü oluşturan linyit rezervlerinin elektrik üretimi ve birincil enerji kaynak kullanımında olabildiğince verimli değerlendirilmesi ve elektrik üretimindeki kullanım oranlarının yükseltilmesi ile ülke ekonomisine önemli katma değerler sağlanmış olacaktır. Böylelikle, yerli linyit kömür potansiyelinin geliştirilmesi ve elektrik enerjisi üretim kapasitesine dönüşümü sağlanarak enerji arz güvenliği arttırılırken enerji ithalat düzeyinin azaltılabileceği ifade edilmektedir.

## 2 DURUM ANALİZİ

Enerji, mal ve hizmetler için temel unsurdur(Erdal vd, 2015). Türkiye'nin ekonomik büyüme hacmiyle orantılı olarak birincil enerji düzeyi ve elektrik tüketim talebi de yükselmektedir. Ancak, birincil enerji kaynaklarının sadece %24,8'i yerli kaynaklardan sağlanmaktadır. Bu yerli kaynakların da %41,8'ini yerli kömür oluşturmaktadır (IEA,2016). Başka bir ifadeyle, birincil enerji kaynaklarının yaklaşık %10'u yerli linyit kömürden sağlanmaktadır. Toplam enerji ithalatının büyük bir bölümünü ham petrol ve doğalgaz oluştururken bir kısmını da taşkömürü gibi birincil enerji kaynakları oluşturmaktadır.

Türkiye son on yılda elektrik enerjisi talebini yaklaşık % 55 oranında arttırmıştır. Bu rakam, 2006 yılında 174637 GWh düzeyinde iken 2016 yılında 274859 GWh'e yükselmiştir. Kurulu güç kapasitesi de yaklaşık iki katına ulaşmış olup 2006 yılında 40565 MW iken 78952 MW düzeyine yükselmiştir. Türkiye enerji görünümü ve

indikatörlerinin son on yıllık süreçteki değişimi Çizelge 1'de verilmektedir.

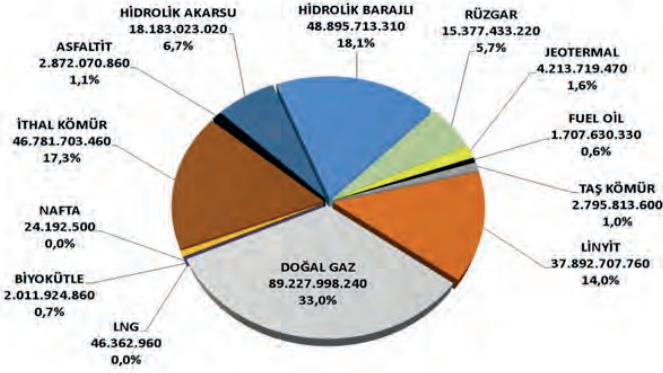
Çizelge 1. Türkiye enerji görünümü (OKP,2013)

Enerji indikatörleri	2006	2013	2016
Birincil Enerji Talebi (MTEP)	99642	123600	129700
Elektrik Enerji Talebi (GWh)	174637	255000	274859
Kişi Başı Elektrik Tüketimi (kWh/kişi)	2517	3351	3373
Elektrik Kurulu Gücü (MW)	40565	58500	78592
Enerji Yoğunluğu (TEP/1000 Dolar)	0,288	0,272	0,25

Ülkelerin gelişmişlik düzeyini yansıtan enerji indikatörlerden olan kişi başı elektrik tüketimi, 2006 yılında 2517 kwh iken artarak 2016 yılında 3373 kWh'e ulaşmıştır. Enerji yoğunluğu giderek düşürülmeye çalışılmakta 0,288 değerinden 0,25 düzeyine gerilemiştir. Elektrik üretiminde doğalgaz payı % 33,04'e düştüğü gözlenmektedir. Buna karşın, kömürün kullanımı giderek yükselmekte ve elektrik üretiminin yaklaşık üçte biri %33,46 ile kömürden sağlanmaktadır. Hidrolik kaynaklardan elektrik üretimi %24-25 aralığındadır. Yenilebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı giderek yükselmekte ve % 7,25 düzeyindedir(Çizelge 2).

Çizelge 2. Elektrik enerjisi üretimi ve kaynak dağılımı

Enerji Kaynakları	2013		2016	
	GWh	%	GWh	%
Linyit kömür	30262	12,60	37893	14,03
Taşkömürü	3338	1,39	2796	1,04
Asfaltit	732	0,30	2873	1,06
Yerli kömür	34332	14,29	43562	16,13
İthal kömür	29454	12,26	46782	17,32
Kömür	63786	26,57	90343	33,46
Doğalgaz	105116	43,77	89228	33,04
Fuel-oil	1192	0,50	1708	0,63
Biyomas+atık	1171	0,49	2012	0,75
Hidrolik	59420	24,74	67079	24,84
Rüzgar	7558	3,15	15377	5,69
Motorin	546	0,23	71	0,03
Jeotermal	1364	0,57	4214	1,56
TOPLAM	240153	100	270030	100



Şekil 1. Elektrik üretiminde kaynak dağılımı ve payları (TEİAŞ, 2017)

Dünya elektrik üretiminde primer kaynak olarak kömür % 41 seviyesindedir. Türkiye elektrik üretiminde toplamda %33,46 düzeyindedir. Bunun sadece %16,13'ü yerli kömürlerden sağlanırken yaklaşık % 14'lük bölümü linyitten elde edilmektedir (Şekil 1). 2015 yılında kömüre dayalı santrallerden toplam 76,1 TWh brüt elektrik üretilmiş olup toplam brüt elektrik üretimi içerisindeki payı % 29,09 düzeyinde iken 2016 yılında bu pay % 33,46'ya ulaşmıştır. Diğer yandan 2016 yılında yerli kömürden üretilen elektrik 43,5 milyar kWh ulaşmıştır.

Kurulu güç kapasitesi kısa sürede oldukça hızlı artış sağlamıştır. 2013 yılında 64000 MW olan bu kapasite 2016 sonu itibariyle 78592 MW güç kapasitesine ulaşmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Kurulu güç kapasitesi ve kaynak dağılımı

Enerji Kaynakları	2013		2016	
	MW	%	MW	%
Kömür	12427,8	19,42	17316,3	22,03
Hidrolik	22289,1	34,82	26515,5	33,74
Doğalgaz	20255	31,64	22502	28,63
Diğer	5965,2	9,32	5302,5	6,75
Rüzgar	2759,6	4,31	5387,6	6,86
Güneş	0	0,00	792,8	1,01
Jeotermal	310,8	0,49	775,1	0,99
<b>TOPLAM</b>	<b>64007,5</b>	<b>100,00</b>	<b>78591,8</b>	<b>100,00</b>

Kömüre dayalı santral gücü; 17316 MW ile toplam kurulu gücün % 22,03'ünü oluşturmaktadır. Yerli kömüre dayalı kurulu güç kapasitesi 9842,4 MW ile toplam kurulu gücün %12,52'sidir. İthal kömüre dayalı

termik santral kurulu gücü ise 7474 MW olurken toplam kurulu gücün %9,51 'ini oluşturmaktadır. Dünya'da kömür kullanımı yüksek olmasına rağmen ülkemiz bu rakamın oldukça altında olup bu dezavantaj önemli risk ve ekonomik kayıplar oluşturmaktadır.

Dünya enerji konseyi tarafından sürdürülebilir enerji; üç temel amaca dayalı olarak tanımlanmaktadır. Bunlar, enerji güvenliği, enerji dengesi ve çevresel sürdürülebilirliktir. Bu üç amaç, ülkelerin temel kabiliyet ve rekabet düzeyini belirlemektedir. 125 ülkenin kabiliyet ve rekabet düzeyinin belirlenmesine yönelik enerji trilemma indeksi geliştirilmiştir. Enerji kaynaklarının verimliliğinin artırılması ve büyüyen enerji talebi yönetiminin sağlanması, enerji balansı için anahtar olmaktadır (WEC, 2016).



Şekil 2. Enerji trilemma indeksi (WEC, 2016)

Enerji Trilemma İndeks değeri; enerji arz güvenliği, enerji dengesi, enerji çeşitliliği gibi temel faktörlerin puanlanarak bir rank elde edilmesi ile belirlenmektedir. Türkiye bu indekste 46. sırada yer almaktadır. Yerli enerji kaynaklarının ve özellikle linyit kömür potansiyelinin devreye alınması; enerji arz güvenliğini arttıracığı için bu sıralama değerinin yükseltilmesine de katkı sağlayacağı açıkça görülmektedir.

### 3 ÇÖZÜM: YERLİ KÖMÜR

Türkiye artan enerji talebini karşılayabilmek ve sürdürülebilir bir şekilde yönetebilmek için, yerli enerji kaynaklarının kullanımını artırılmasında; enerji arz güvenliği, enerji dengesi, enerji çeşitliliğinin doğru

belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, yerli enerji kaynaklarına yönelinmeli ve elektrik üretiminde yerli kömür kullanımı arttırılmalıdır(Yılmaz, 2009).

Dünya Enerji Konseyi araştırmalarına göre Dünya işletilebilir kömür rezervi 861 milyar tondur. Bu rezervin 405 milyar tonu antrasit ile taşkömürü, 261 milyar tonu alt bitümlü kömürler ve 195 milyar tonunu linyit oluşturmaktadır(WEC, 2016). Dünya kömür rezervlerinin en büyük kısmı 237,3 milyar ton ABD'de yer almaktadır. Rusya 157 milyar ton ve ardından Çin 114,5 milyar ton ile izlemektedir(Çizelge 4).

Çizelge 4. Dünya elektrik üretiminde kömürün payı ve rezervler(INERMA,2015)

Ülke	Elek.Üret.		Rezerv	
	%	Milyar ton	%	
Güney Afrika	92,8	30,2	3,68	
Kazakistan	76,1	33,6	4,09	
Çin	75,7	114,5	13,95	
Hindistan	71,1	60,6	7,38	
Avustralya	68,8	76,4	9,31	
İsrail	61,5	-		
Çek Cumhuriyeti	53,8	-		
Almanya	45,6	40,7	4,96	
ABD	38,3	237,3	28,90	
Japonya	29,3	-		
Rusya	16,0	157	19,12	
Türkiye	16,07	16,8	2,05	
TOPLAM		821		

Dünya toplam kömür üretimi dikkate alındığında, küresel kömür rezervlerinin yaklaşık 142 yıl ömrü bulunduğu hesaplanmaktadır. Türkiye linyit rezervi bakımından önemli bir rezerve sahip olup küresel ölçekte % 8'e yaklaşan payıyla önemli bir konumdadır. Linyit kömür üretimi ise 70 milyon ton ile 5. sıradadır(Çizelge 5,6). Ancak ülkemiz bu avantajını yeterli düzeyde kullanamamaktadır. Dünya'da üretilen elektriğin yaklaşık %40'ı kömürden sağlanmasına rağmen Türkiye'de bu oran % 16 civarındadır. Onuncu Kalkınma Planı hedefleri doğrultusunda, birincil enerji üretiminde yerli kaynakların payının yükseltilmesi hedeflenmektedir(OKP, 2013). Buna yönelik yapılan projeksiyonlara göre; enerjide yerli kaynak kullanımının

arttırılması stratejisi çerçevesinde, farklı bölgelerdeki kömür sahaları değerlendirilerek yeni kömür sahalarının belirli bir süreç için özel sektöre devredilerek ekonomiye kazandırılması planlanmaktadır (ETKB, 2017).

Çizelge 5. Dünya linyit kömür rezerv dağılımı ve üretimi(TKİ,2016)

Ülke	Rezerv		Üretim	
	Milyar t	%	Milyon t	%
Almanya	40,5	20,15	185	35,51
Rusya	10,5	5,22	78	14,97
Avustralya	37,2	18,51	74	14,20
ABD	30,2	15,02	72	13,82
Türkiye	15,5	7,71	70	13,05
TOPLAM	201		521	

Linyit sahalarındaki kömürün ısıl değerleri ortalama 1500-2000 kcal/kg arasında değişmektedir. Ülkemizdeki toplam linyit rezervinin yaklaşık %75'i; 2500 kalorinin altında, %17'si; 2500-3000 kcal/kg arasında, %5,1'i; 3000-4000 kcal/kg arasında olup sadece %3,4'ü 4000 kcal/kg üzerinde ısıl değerdedir. Düşük kalori değerli olduğu için termik santrallerde elektrik üretimine yönelik kullanılmaktadır(Hepbaşlı, 2004). Bu nedenle, linyit kömür üretiminin yaklaşık %80'i elektrik üretimi için termik santrallere beslenmektedir.

Çizelge 6. Türkiye yerli kömür üretim değerleri (MİGEM,2016)

Yıl	Linyit	Taşköm.	Asfaltit	Bit.şyl	Toplam(t)
2010	81957446	2727414	285362	600000	85570222
2011	82375247	2619247	572089	394277	85960860
2012	78014194	3235299	649830	394277	82293600
2013	52078810	2789338	648953	149828	55666929
2014	65143083	1916833	336852	259508	67656276
2015	58330354	2074049	837112	288185	61529700

Son yıllarda yürütülen kömür arama faaliyetleri sonucunda linyit rezervi önemli ölçüde geliştirilmiş olup 8,3 milyar ton olan rezerv miktarı, 7,26 milyar ton artarak 15,6 milyar tona çıkarılmıştır(MTA,2016). Son 10 yıllık dönem içinde, 3 tanesi büyük olmak

üzere 12 yeni linyit kömür rezervi keşfedilmiştir. Konya Karapınar'da 1,8 milyar ton rezerv, Eskişehir Alpu'da 1,45 milyar ton rezerv ve Afyon Dinar'da 940 milyon ton linyit kömür rezervleri bulunmuştur. Bu rezervlerin toplam büyüklüğü ise 4,2 milyar tondur. Soma ve Afşin Elbistan sahalarında yaklaşık 1,5 milyar ton rezerv geliştirilmiştir. Bu linyit sahalarına ait detaylar Çizelge 8'de verilmektedir. Gerçekleştirilen bu rezerv artışları, aynı zamanda önemli oranda enerji ithalatının azaltılabileceği anlamına da gelmektedir. Bu linyit rezervlerinin elektrik üretimine dönüşümü ile ortaya çıkacak elektrik üretim kapasitesi, ülkenin yıllık yaklaşık 2-2,5 milyar dolarlık doğalgaz enerji ithalatını azaltılabileceği olası bir potansiyel olarak görünmektedir.

#### 4 MODEL ÇALIŞMA

Belirtilen linyit rezervlerinin elektrik üretim kapasitesine dönüşümünde ortaya çıkacak potansiyel elektrik kurulu gücünün belirlenmesi çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bunun için istatistiksel hesaplanmalara dayalı olarak ortalama alt kalori değeri ve diğer parametrelerle kurulu güç belirlenmeye çalışılmıştır. Model parametreleri ve değerleri Çizelge 7'de verilmektedir.

Çizelge 7. Model parametre ve değerleri

Parametre	Değer
Linyit rezervi (1000xton)	7 261 600
Ortalama alt ısı değeri (kcal/kg)	1663
Yıllık çalışma saati (h/yıl)	6400
Termik verim (%)	40
Ekonomik ömür (yıl)	25

Linyit kömür rezervlerinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinin oluşturacağı potansiyel kurulu güç kapasitesi saha bazında rezerv, ortalama alt kalori, yıllık çalışma saati ve termik verim üzerinden kabaca hesaplanmaya çalışılmıştır. Linyit sahaları ve parametrelerine uygun potansiyel anlamda kurulabilecek termik santral kurulu güç kapasiteleri Çizelge 8'de verilmektedir.

Çizelge 8. Model ile sahaların ortaya konulan potansiyel kurulu güçleri

Yeni ve geliştirilen kömür sahaları	Rezerv	Kalori	Potansiyel
	M. ton	kcal/kg	MW
Konya-Karapınar	1 832	1374	7380
Eskişehir-Alpu	1 453	2243	9552
Afyon-Dinar	941	1854	5084
Elbistan	515	1136	1700
Trakya Çerkezköy	495	2030	2964
Isparta-Şarkikaraağaç	306	1489	1305
Pınarhisar-Vize	140	1891	760
Denizli-Çardak	44	2432	306
Konya-Ilgın	30,6	2218	192
Afşin-Elbistan (Geliştir.)	1 300	1136	4230
Manisa-Soma (Geliştir.)	205	2879	1690
TOPLAM	7 261		35163

Model çalışma sonuçlarına göre;

Belirtilen linyit sahalarına kurulması planlanan termik santraller ile ülkenin elektrik kurulu gücüne 35163 MW 'lık artış sağlanabileceği ortaya çıkmaktadır.

Bu potansiyel elektrik üretim kapasitesi, mevcut kömüre dayalı termik santral kurulu gücünün yaklaşık iki katı bir büyüklüktür. Kurulu güç kapasitesinin yükseltilmesine yönelik 9842 MW yerli kömüre dayalı kurulu güç, iyimser değerlendirmelere göre 33000 MW'lık termik santral kapasitesine yükseltilebilir. Teknik kısıtlayıcı faktörlerde dahil edildiğinde, mevcut 79 GW toplam kurulu güç kapasitesini minimum 100 GW düzeyine yükseltilebileceği öngörülmektedir.

Potansiyel bu kurulu güç kapasitesinin yıllık elektrik üretimine maksimum 225000 GWh katkı sağlayacağı ve toplam elektrik enerjisi üretim miktarını 495 milyar kWh düzeyine yaklaştırabileceği öngörülmektedir. Bu elektrik üretim kapasitesine ulaşılması durumunda, kişi başı elektrik tüketim değerinin 5500 kwh/kişi seviyesine yükseltilmesine de olanak sağlayabileceği ve ortalama gelişmiş ülke normlarına ulaşılabileceği öngörülmektedir. Çizelge 9'da model çıktıları özetlenmektedir.



## Çizelge 9. Model sonuç değerleri

Model çıktıları	Değer
Kurulu santral gücü (MW)	35163
Elektrik üretimi (GWh/yıl)	225 043
Elektrik tüketimi (kwh/ kişi)	5500
Öngörülen yatırım bedeli (\$)	52,5 Milyar
Öngörülen ekonomik kazanım (\$)	50 Milyar

## 5 TARTIŞMA

Yerli linyit rezervlerinin devreye alınmasına yönelik planlanan termik santral projeleriyle bu potansiyelin elektrik enerjisi kapasitesine dönüşümü gerçekleştirilerek kömür üretim kapasitelerinde de önemli oranda artışlar sağlanabilecektir. Ayrıca kömür madenciliğiyle birlikte ülke ekonomisine ve gelişimine de ciddi faydalar sağlanacağı düşünülmektedir.

Orta vadeli bir planlamaya göre bu kömür sahalarına kurulması planlanan termik santrallerin devreye alınması durumunda;

- ✓ En fazla istihdam yaratan enerji yatırımları gerçekleştirilerek açık ve yeraltı kömür işletmelerinin daha aktif çalışması sağlanabilir,
- ✓ Arz güvenliğini sağlayan bu yerli kömür santralleri ile ülkenin cari açığının düşürülmesi sağlanabilir,
- ✓ Yapılacak her 10000 MW yeni üretim kapasitesi ile yıllık 25-30 milyon ton ithal kömür gereksinimi yerli kömürden sağlanabilir.
- ✓ Bu sayede, yıllık bazda 2 milyar \$'lık kömür ithalatı yerine yaklaşık 1500 MW santral yatırımı için finansman sağlanabilir,
- ✓ Sağlanacak bu finansmanlarla, 25 yıllık bir işletme sürecinde elektrik üretim kapasitesinin arttırılmasına yönelik yerli kömür santral yatırımlarının gerçekleştirilmesi sağlanabilir,
- ✓ Genel olarak 50 milyar \$ değerindeki enerji ithalatı, yatırımlara, istihdama ve ülke ekonomisine pozitif dönüşümü sağlanabilir.

## 6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya linyit kömür rezervlerinin yaklaşık % 8'ine sahip olan ülkemiz kömürlerinin elektrik üretimindeki payının ideal seviyelere yükseltilmesi, stratejik anlamda olduğu kadar ekonomik ve istihdam açısından da önemli yararlar sağlayacaktır. Bu potansiyelin geliştirilmesi ve elektrik enerjisi kurulu güç kapasitesine dönüşümünde; arz güvenliği, enerji dengesi, enerji çeşitliliği ve çevresel sürdürülebilirlik gibi faktörlerin optimize edilmesi gerçeği de gözönünde bulundurulmalıdır.

Sürdürülebilir bir enerji programı için enerji ithalatının düşürülmesi gerçeği, günümüz üretim kapasitesi ile yaklaşık 200 yıllık statik ömrü bulunan linyit kömürlerinin kullanımı ve kapasitelerinin olabildiğince arttırılmasını gerektirmektedir. Buna yönelik daha efektif üretim ve kapasite artışları ile üretim maliyetlerinin düşürülmesini sağlayan uygun modellerle linyit kömürlerin daha ekonomik ve rasyonel değerlendirilebileceği öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

- EMOB, 2017. Türkiye Elektrik Mühendisleri Odası, *Elektrik üretimleri.pdf*.
- Erdal L., Pektaş A.O., Özkan O; Özkan F., 2015. International Journal of Global Warming, Vol.7, No.1, pp.128 – 159,
- ETKB,2017.TC.Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://sp.enerji.gov.tr/amac2.html>
- IEA,2016. International Energy Agency. Energy policies of IEA countries, Turkey 2016 review.
- Hepbaşlı, A. 2004. Coal as an energy source in Turkey. *Energy Sources* 26:55–63.
- INERMA,2015.
- MİGEM,2016. Maden İşleri Genel Müdürlüğü, *Maden üretim değerleri.pdf*.
- MTA,2016. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, *Kömür araştırmaları*.
- OKP, 2013. Onuncu Kalkınma Programı 2014-2018. T.C.Kalkınma Bakanlığı. Ankara.
- TEİAŞ,2017.Türkiye Elektrik İletim AŞ. <http://www.teias.gov.tr/istatistik>
- TKİ,2016. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, *Faaliyet Raporu,2015*.
- WEC,2016. World Energy Council, *Energy Trilemma Index 2016 Report*.
- Yılmaz, A. O. 2009. Present Coal Potential of Turkey and Coal Usage in Electricity Generation, *Energy Sources, Part B*, 4:135–144.

# Zemin İyileştirmede Kullanılan Katkı Maddelerinin Kesici Uçlar ve Havalandırma Açısından Önemi

## *Importance of Additive Materials in Ground Conditioning with Regard to Cutting Picks and Underground Ventilation*

C. Doğruöz

*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

S. Özün

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta*

M. Gülsün Kılıç

*Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır*

**ÖZET** Yeraltı yapılarında tünel açma esnasında kullanılan TBM'lerin kesici uçlarının performans etkileri önemli bir parametre olmaktadır. Bu kesici uçların tayini, aşınma faktörleri ve kesme performansları, zemin iyileştirme şartlarını doğrudan etkilemektedir. Kesici uçların genel olarak %10 kobalt alaşımlı tungsten karbit malzemeden imal edildiği bilinmektedir. Tünellerin açılması esnasında arında meydana gelen zemin değişikliklerini engellemek için kullanılan bazı özel katkı malzemeleri bulunmaktadır. Bu katkılar, kazı yüzeyinin kesici kafaya yapışmasını engellemek, kırıntıların nakliyesini kolaylaştırmak ve kesici uçların aşınmasını engellemek amacı ile kullanıldığı bilinmektedir. Kullanılan bu katkı malzemeler, zemin iyileştirmek amacıyla kesici kafaların içerisinden yüzeye enjekte olmaktadır. Yeraltında gerçekleştirilen tünel açma esnasında havalandırma şartlarının da zemin iyileştirmede kullanılan katkı malzemelerine olan etkisi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, kesici uçların kesme verimleri, zemin iyileştirmede kullanılan katkı maddeleri ve havalandırma şartlarının etkileri araştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** kesici uçlar, kazı yüzey kimyasalları, havalandırma etkileri

**ABSTRACT** The performance effects of TBM cutting picks have a significant role in underground structures during tunneling operations. Selection of these cutting picks, wear parameters and cutting performances directly affect the ground recruitment conditions. It is known that the cutting picks are usually made up of %10 tungsten cobalt compounds. Some specific additives are used in order to prevent the ground modifications during the tunneling operations at excavation surface. These additives are utilized to prevent the adhesion between excavation surface and cutting head, to ease the transport of chip materials and also avoid the weariness of cutting picks. These additives are injected into the excavation surface from cutting head. The effect of ventilation conditions on additives in ground recruitment is also important during the tunneling in underground. In this study, performances of cutting picks, additives using in ground recruitment and ventilation parameters were investigated.

**Keywords:** cutting picks, excavation surface chemicals, ventilation effects

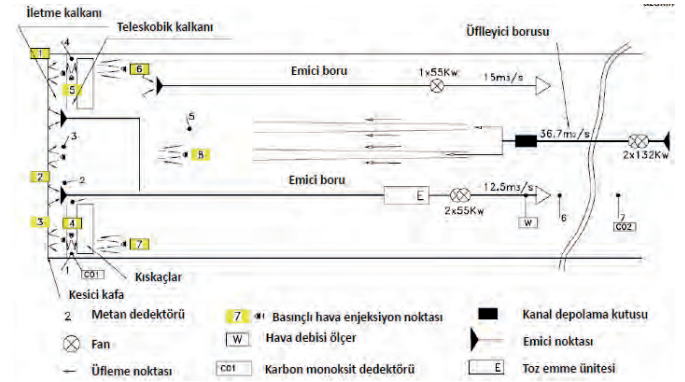
## 1 GİRİŞ

Son yıllarda ulaşım sektöründe tünelticilik faaliyetleri çok büyük önem taşımaya başlamıştır. Tünelticilik uygulamalarının artmasıyla ve buna paralel olarak tünelticilikte yeni teknolojilerin kullanılmaya başlanmasıyla bazı sorunlar da ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlardan bazıları zemin iyileştirme gerekliliği, kesici uçların aşınmasıyla açığa çıkan toz sorunu ve havalandırma gibi parametrelerdir. Bu çalışmada, bu gibi faktörler yüzeysel olarak irdelenmektedir. Tünelticiliğin daha çok geliştirilmesi ve dünyada söz sahibi olmak için her türlü sorunlar araştırılmalı ve çözüm önerileri getirilmelidir.

## 2. Kesici uçlar ve havalandırma etkileri

Yeraltı kazılarında TBM kullanımı esnasında kesici uçların formasyona teması sırasında belli bir süre sonra aşınma meydana geldiği bilinmektedir. Bu aşınma sert kayaların kazısında daha fazla özgül enerji harcanmasına yol açmaktadır. Laboratuvar ortamında yapılan deneyler neticesinde keskin uçlar ile aşınmış uçlar arasında doğrusal yönde hızla artan bir körelme olduğu saptanmıştır (Dogruoz vd., 2016). Keskin uçların formasyona temasından sonra açığa çıkan tozlanma ile aşınmış uçların kesiminden sonra açığa çıkan tozlanma dereceleri aynı olmamaktadır. Keskin uç ile kesme işlemi gerçekleşirken aşınmış uçlar ile daha çok öğütme tarzında kesme işlemi gerçekleşmektedir. Bu durum ise daha ince parçaların oluşmasına ve havalandırma şartlarının daha da iyileştirilmesi gerekliliğine işaret etmektedir. Tablo 1'de keskin uçlar ile laboratuvar ortamında yapay olarak aşındırılmış uçlar ile gerçekleştirilen kesme işlemlerinin sonuçları yer almaktadır. Havalandırma, yeraltı kazılarında üzerinde titizlikle durulması gereken bir konudur. Havalandırmanın amacı, gerekli hava miktarının temin edilmesiyle daha güvenli ve sağlıklı çalışma koşullarının elde edilmesi şeklinde açıklanmaktadır. Diğer bir deyişle nakledilen havadan beklenen, çalışanlara temiz hava temin etmek, yayılan veya oluşan patlayıcı ve zararlı gazların ve tozların hava

içindeki oranlarını azaltmak veya dışarıya sevk etmek, çok ender de olsa işyeri havasını iklim şartları bakımından iyileştirmektir (Ayvazoğlu, 1974). Şekil 1'de Grandori'nin çizimini gerçekleştirdiği ve Arıoğlu'nun da tünelticilik çalışmalarında yer verdiği tam kesit galeri açma TBM kazısı esnasında emici ve üfleyci borular vasıtasıyla gerçekleştirilen havalandırma sistemi yer almaktadır.



Şekil 1. TBM tünel kazısında havalandırma akımı (Grandori, Arıoğlu, 2009).

**Tablo 1.** Orta sertlikte ve sert kayaçların özgül enerjileri ve aşınma yüzdeleri (Dogruoz, 2016)

<b>Kayaç Örneği</b>	<b>Keskin Uc Özgül Enerji (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Aşınmış uc Özgül Enerji (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Aşınma Oranı Katsayısı</b>
Kireçtaşı1	6,74	15,37	1.28
Kireçtaşı2	8,68	57,55	5.63
Kireçtaşı3	1,93	4,35	1.25
Kireçtaşı4	4,24	14,55	2.43
Killikireçtaşı	2,36	5,12	1.16
Çamurtaşı1	17,96	54,07	2.01
Çamurtaşı2	12,03	43,12	2.58
Çamurtaşı3	7,99	37,01	3.63
Çamurtaşı4	19,86	79,64	3.01
Çamurtaşı-kumtaşı	8,92	15,77	0.76
Marn1	2,07	4,3	1.07
Marn2	2,18	5,9	1.70
Altere tüf	10,9	36,85	2.38
Litik tüf1	7,47	31,91	3.27
Litik tüf2	6,52	19,61	2.00
kiltaşı	1,44	2,15	0.49
Kumtaşı1	9,96	33,34	2.34
Kumtaşı2	27,68	-	-
Andezit	23,34	86,9	2.72
Traverten	28,28	-	-

### 3.TÜNEL KAZISINDA KULLANILAN KATKI MADDELERİ

Tünellerin kazısı, formasyonların sertlik derecelerine ve mekanik özelliklerine bağlı olarak kazı esnasında bazı katkıların kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu katkılar günümüzde mekanik tünel açma işlemlerinin farklı bölümlerinde zemini iyileştirmede, sert formasyonların yumuşatılmasında veya yumuşak zeminlerin belirli bir sertlik derecesine getirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Katkılar ayrıca; kazı hızlarının iyileştirilmesi, aşınmanın azaltılması ve kesici kafadaki güç gereksinimlerinin azaltılması, kazılan toprağın akış özelliklerinin iyileştirilmesi, hidrolik ve vidalı konveyörlerde daha iyi basınç kontrolünün sağlanması vb. avantajlar sağlamaktadır.

([http://www.eng.ox.ac.uk/civil/publications/t\\_heses/penaduarte.pdf](http://www.eng.ox.ac.uk/civil/publications/t_heses/penaduarte.pdf)).

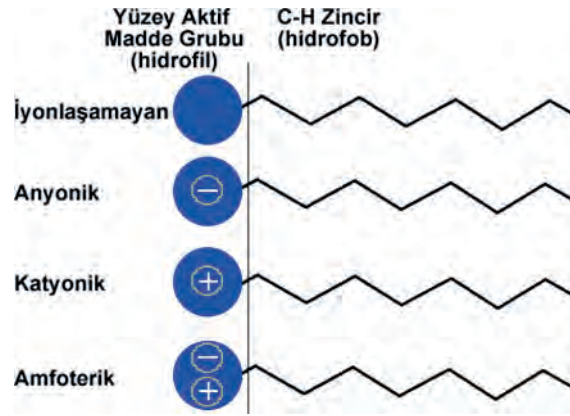
Zemin şartlandırma amaçlı çeşitli katkıların kullanımına ek olarak kazı işlerinden sonra tahkimat amaçlı olarak geçmişte beton içerisinde hasır donatılar kullanılırken günümüzde özellikle 1970’li yıllardan sonra püskürtme beton uygulamaları yaygınlaşmıştır.

Zemin şartlandırmada kullanılan katkılar, killer (çoğunlukla bentonit) ve farklı etki mekanizmalarına sahip dağıtıcılar, polimerler, yüzey aktif maddeler (yam) vb. gibi kimyasallardan oluşmaktadır. Katkı seçimi temel olarak arazideki zemin türüne, jeolojik özelliklere (yeraltı suyu, zemin geçirgenliği vb.), tünel açma makinasının karakteristik özelliklerine, fiyatına, çevresel etkilerine (biobozunurluk, insanlara, hayvanlara ve bitkilere toksik etkileri) bağlı olarak gelişmektedir (Efnarc, 2005; Avunduk, 2011; Merritt, 2004; Milligan, 2000).

Kazı esnasında kullanılan katkıların uygun seçilmesi, kazı performansının artması, çevreye etkilerinin azaltılması ve makine ekipmanlarının aşınmasını en aza indirmek açısından çok büyük önem taşımaktadır (Efnarc, 2005). Bu maddeler ya ayrı ayrı ya da zemin şartlarına bağlı olarak uygun oranlarda birbirlerine karıştırılarak da kullanılabilir (Efnarc, 2005; Avunduk, 2011; Tokgöz ve ark., 2015). Örnek olarak;

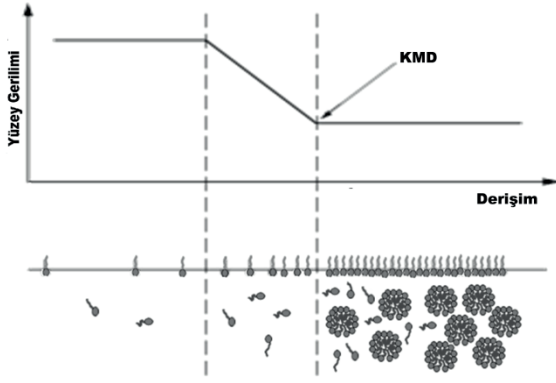
bentonit kili kimyasalları (polimerler, köpükler vb.) desteklemek amacıyla zemine ilave edilebilir, böylece kullanılan kimyasallar bentonit ile karışırken daha mukavim hale gelmektedirler. Yüksek molekül ağırlığına sahip polimerler vb. kimyasalların da zemine ilave edilmesiyle ayrışma önlenirken toprak geçirgenliği azaltılabilmektedir. ([http://www.pipejacking.org/assets/pj/uploads/docs/Andrew\\_Merritt\\_PhD\\_Cambridge\\_2004.pdf](http://www.pipejacking.org/assets/pj/uploads/docs/Andrew_Merritt_PhD_Cambridge_2004.pdf); Efnarc, 2005; Merritt, 2004).

Köpük oluşturma amacıyla kullanılan kimyasal katkılar ise, iyonlaşabilenler (anyonik, katyonik), iyonlaşamayanlar ve amfoterik olanlar olmak üzere üçe ayrılırlar (Şekil 2).



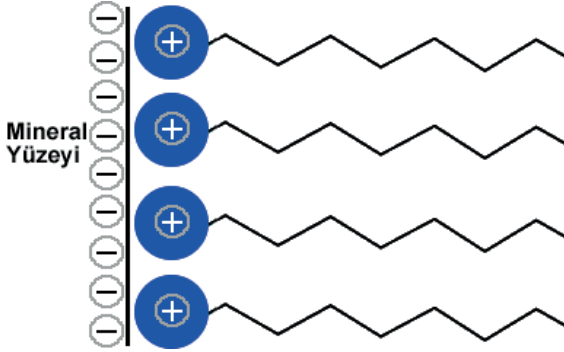
**Şekil 2.** Farklı yüzey aktif maddelerin şematik gösterimi

Apolar hidrofobik bir hidro karbon (C-H) zinciri ve polar bir kafadan oluşan bu kimyasallar organik ve sentetik olabildikleri gibi, özelliklerine bağlı olarak sıvı/hava, sıvı/katı ya da her iki arayüzde de etkin olabilmektedirler. TBM uygulamalarında köpük oluşturma amaçlı kullanılan bu kimyasallar kullanım miktarlarına (kritik misel derişimin (KMD)’lerinin altındaki derişimlerde) vb. koşullara göre sulu çözeltilerin yüzey gerilimlerini azaltıcı etkiye sahiptirler. Azalan yüzey gerilimi ile oluşturulan hava kabarcıklarının hem boyutları küçülmekte hem de kararlılıkları artmaktadır. Kritik misel derişiminden daha derişik sulu çözeltilerde ise monomerler sıvı/hava veya sıvı/katı arayüzüne yönelmek yerine C-H zincirleri ile misel oluşturmaktadırlar (Fuerstenau vd., 2007; Kınay ve Özün, 2014) (Şekil 3).



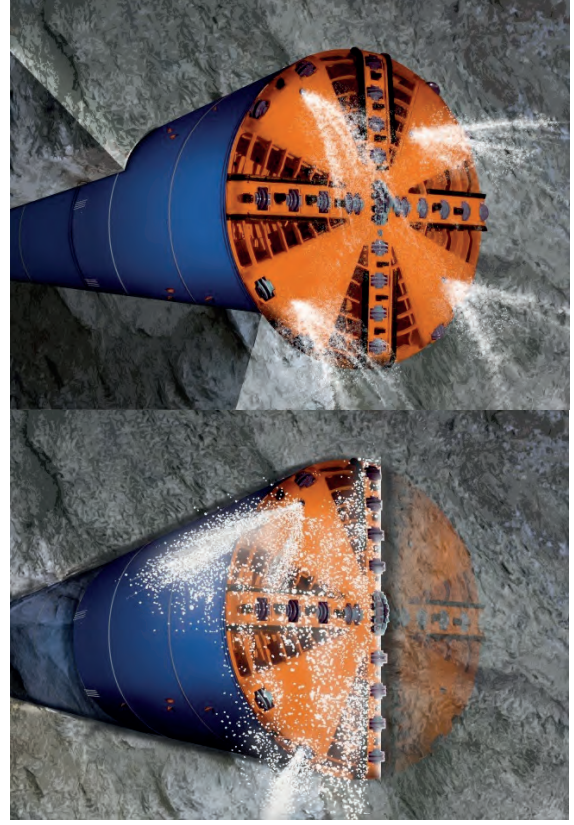
**Şekil 3.** Yüzeysel gerilimin kimyasal derişimine bağlı değişim grafiği

YAM'lar kayacı oluşturan minerallerin yüzeysel elektostatik çekim kuvveti etkisi ile adsorplanabildikleri gibi, kimyasal, hidrojen vb. bağlarla da bağlanabilmektedirler. Şekil 4'de katyonik tür bir yüzeysel aktif madde (YAM)'nin zıt yüklü mineral yüzeysel elektostatik olarak bağlanması şematik olarak gösterilmiştir (Fuerstenau vd., 2003).



**Şekil 4.** YAM'nin mineral yüzeysel adsorpsiyonu (şematik gösterim)

Şekil 5'de orta sertlikte kayalarda tam kesit kazı yapan TBM uygulaması esnasında zemin iyileştirme amaçlı katkı maddesi uygulaması görülmektedir. Görüldüğü üzere kazı arınına uygulanan katkı maddesi doğrudan dikey zemine temas etmektedir.



**Şekil 5.** Zemin iyileştirmede TBM köpük uygulaması

#### 4.SONUÇLAR

Yeraltı tünellerinde kullanılan TBM'lerin kazısı esnasında kesici uçların aşınmasıyla kesme işlemi daha çok öğütme işlemine dönüşebilmektedir. Bu yüzden zamanında değiştirilmeyen aşınmış uçlar toz şeklinde küçük parçalar açığa çıkarabilmektedir. Bu durum ise havalandırma şartlarının iyileştirilmesini zorunlu kılmaktadır. TBM kazılarında zemin iyileştirmede kullanılan katkı maddelerinin içeriği ise kesici uçları etkileyen faktörler arasında bulunmaktadır. Genelde sektörde kullanılan kesici uçlar %10 kobalt alaşımlı tungsten karbit malzemedir. Katkı maddelerinin kimyasal içerikleri bu açıdan önem arz etmektedir. Zemin iyileştirmek amaçlı kullanmak için sarf malzemelerinin daha çabuk aşınmasına sebep olmak, ekonomik açıdan uygun olmayabilir. Kesici uçların aşınmasıyla açığa çıkan tozların bu kimyasallar ile birleşerek daha büyük sorunlara yol açmasını engellemek için kaliteli bir havalandırma yapmak gerekmektedir. Bunun için de kazı

formasyonu, kesici uçların arına temas noktaları, zeminin iyi tanınması ve havalandırma etkilerinin araştırılması etkili olacaktır. Bu çalışmada, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen keskin ve yapay ortamda aşındırılmış chisel tip keski uçlarının sedimanter kayalarda uygulanmasıyla elde edilen laboratuvar spesifik enerjileri verilmiştir. Ayrıca TBM'lerin kullanımı esnasında zemin iyileştirmek için uygulanan katkı maddeleri üzerinde çalışılmıştır. Bu katkı maddelerinin neler olduğu ve kimyasal açıdan yüzey aktif gerilim prensipleri üzerine de değinilmiştir.

## 5. KAYNAKLAR

EFNARC, 2005, "Specification and Guidelines for the use of specialist products for Mechanised Tunnelling", Surrey GU9 7EN, UK

Avunduk, E., 2011, "Mekanize Tünel Kazılarında Adezyon Problemi", Madencilikte Özel Konular, İTÜ

Fuerstenau, M.C., Somasundaran, P., 2003, Flotation, Fuerstenau, M.C., Han, K.N. (Eds), Principles of Mineral Processing, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Sayfa: 245-299.

Kınay G, Özün S, Effect of anionic and cationic flotation collectors' amount and pH on surface tension, in: Ipekoglu U, Arslan V, Sen S, eds. Proceeding of IMPS 2014. Turkey, Aydın, Kusadasi: 2014. pp.267-272.

Merritt, A.S., 2004, Conditioning of clay soils for tunnelling machine screw conveyors, A dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy at the University of Cambridge.

Fuerstenau M, Jameson G, Yoon R-H. Flotation chemistry, Froth flotation: a century of innovation, Society for Mining. USA, Colorado: Metallurgy and Exploration Inc.; 2007. pp. 373-635.

Milligan, G.W.E , 2000, Lubrication And Soil Conditioning In Tunnelling, Pipe Jacking And Microtunnelling, State-Of-The-Art Review, Geotechnical Consulting Group, London.

Tokgoz, N., Binen, İ.S., Avunduk, E., 2015, An evaluation of fine grained sedimentary materials in terms of geotechnical parameters which define and control excavation performance of EPB TBM's, Tunnelling and Underground Space Technology 47 211–221.

Grandori, R., "Abdalajis East Railway Tunnel (Spain)- Double Shield Universal Tbms Cope With Extremely Poor And Squeezing Formations", , Seli, Rome Italy

Arıoğlu, E., 2009, "Tünel Kazılarında Havalandırma(Gaz limitleri, Üfleyci havalandırma sistemi, Emici sistem, Havalandırma hesapları)", Yapı Merkezi Ar&Ge Bölümü, Genişletilmiş 11.bölüm

Ayvazoğlu, E., 1974, " Maden Havalandırma " İTÜ Maden Fak. Ofset Baskı Atölyesi

Dogruoz, C., Bolukbasi, N., Rostami, J., Acar, C., 2016, `An Experimental Study of Cutting Performances of Worn Picks`, Rock Mech Rock Eng, DOI 10.1007/s00603-015-0734-x

[http://www.eng.ox.ac.uk/civil/publications/theses/pe\\_naduarte.pdf](http://www.eng.ox.ac.uk/civil/publications/theses/pe_naduarte.pdf)

[http://www.pipejacking.org/assets/pj/uploads/docs/Andrew\\_Merritt\\_PhD\\_Cambridge\\_2004.pdf](http://www.pipejacking.org/assets/pj/uploads/docs/Andrew_Merritt_PhD_Cambridge_2004.pdf); Efnarc, 2005; Merritt, 2004.

# Amasra B Projesinde On Yıllık Sürecin Genel Değerlendirmesi *General Evaluation of the Ten-year Period in Amasra B Project*

V. Didari, N.A. Akçın

*Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak*

S. Şenkal

*Hattat Enerji, Maden, Ticaret A.Ş., İstanbul*

**ÖZET** Bu bildiri 2005 yılında Türkiye Taşkömürü Kurumu'nca (TTK) yapılan ihale ile HEMA Endüstri A.Ş.'ye rödevansla işletmek üzere devredilen Amasra B Havzasında madencilik çalışmalarında on yıllık sürecin ve geline noktanın genel bir değerlendirmesinin yapılması hedeflenmiştir.

Zonguldak Taşkömür Havzası'nın bilinen rezervinin yaklaşık yarısına hitap edecek bu proje, 2,5 milyon ton/yıl üretim hedefiyle “dev bir madencilik yatırımı” anlamına geldiğinden başlangıçtan bu yana madencilik camiasında büyük bir ilgi yaratmış; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve TTK'dan büyük teşvik görmüştür.

Termik enerji santrallerinde ithal kömür hakim durumda olup bu durum ülkemizi önemli bir taşkömür ithalatçısı yapmaktadır. Yerli kömürün aleyhine olan koşulların başlıca nedeni linyitlerimizin kalitesinin düşüklüğüdür. Amasra B Projesi, kömür kalitesi açısından çok büyük bir üstünlüğe sahiptir.

Hazırlanmış olan projede öngörülen işletme ömrü dışında sahada çok daha uzun ömürlü bir madencilik kapasitesine yeterli rezerv vardır. Proje, gecikmelerle de olsa bugün büyük ölçüde yol almış olup hızla gelişmesini sürdürmektedir.

Amasra Havzası kömürlerinin genelde “kaliteli buhar kömürü” niteliğinde oluşu ve ekonomik olarak değerlendirilebileceği enerji tesislerinin maden ocağının yakınında olmasının zorunlu oluşu nedeniyle çevrenin korunması kaygısıyla projenin durdurulması; bu ulusal servetin, yöre kalkınması ve istihdam için ciddi bir potansiyelin heba edilmesi anlamına gelecektir. Temiz ve “çevre dostu” teknolojilerin kullanılacağı konusunda samimi olunarak sivil toplumun ikna edilmesine ihtiyaç vardır.

**ABSTRACT** In this paper, ten-year period of the Amasra B Project, which was initiated in 2005 by Hema Industries following the signing of a royalty- rental contract with Turkish Hardcoal Enterprise (TTK), has been evaluated.

This Project, which involves half of the reserves of the Zonguldak Hardcoal Basin and targeting 2,5 million tons of annual production has attracted a great interest in the mining sector.

Consuming mainly imported steam-coal in thermal power plants makes Turkey a principal coal importer in the world markets. Main reason of this negative situation is the low quality of the domestic hardcoals. Amasra B Project has got a great advantage due to the high quality of the coal.

Beside the operational life predicted in the original project, the basin has a serious amount of additional reserves, promising a much longer operational life. Although several interruptions and delays occurred through the initial ten year period, the project is developing in a reasonable rate.



Since the Amasra B coals are mostly of “steam-coal” quality and can only be consumed economically in the power plants that have to be located close to the mine, giving up the project for “environmental protection” purposes will be sacrificing this valuable national resource and potential for regional development and employment. So, there is a strong need to persuade the society by being sincere in using the clean and environmentally friendly technologies.

## 1 GİRİŞ

### 1.1 Dünyada Enerjide Kömürün Yeri

Küresel birincil enerji gereksiniminin %81’i fosil yakıtlardan (petrol, kömür ve doğal gaz) karşılanmakta olup kömürün payı %29’dur.

Küresel ısınma tehdidine karşın dünyada üretilen elektriğin %41’i kömürden sağlanmaktadır. Üretilen tüm kömürün 2/3’ü de elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Çelik endüstrisinde bu oran % 15’dir.

2013’de dünyada 7 milyar ton taşkömürü (1 milyar ton koklaşabilir ve 6 milyar ton buhar kömürü) ve 800 milyon ton linyit olmak üzere toplam 7,800 milyar ton kömür üretilmiş ve tüketilmiştir (2014’de toplam rakam 8 milyar tona ulaşmıştır). Üretilen taşkömürünün %15’i demir-çelik endüstrisine tüketilmiş olup 2014’de 1,66 milyar tona ulaşan ham çelik üretiminin (Türkiye 34 milyar ton ile dünyada 8.) %70’i taşkömürüne dayalıdır. Dünyada ticarete konu taşkömürü miktarı 1,3 milyar tondur. Bu rakam, toplam taşkömürü üretim/tüketiminin yaklaşık %17’sine karşılık gelmektedir (WCA ve IEA,2014).

### 1.2 Türkiye’de Enerji ve Kömür

Ülkemizde bulunan enerji kaynaklarından kömür ve hidrolik enerji dışındakiler yetersizdir. Enerjide dışa bağımlılığımız (petrol, doğalgaz ve taşkömürü) % 75 düzeyindedir (TMMOB,2015 ve 2016). 32 milyon t/yıl düzeyindeki taşkömürü tüketimimizin yaklaşık %94’ü ithalatla karşılanmakta olup toplam tüketimin 6,7 milyar t/yıl (%22) kadarı demir-çelik endüstrimizdedir. Bu endüstrimizin dışa bağımlılık düzeyi (taşkömürü, demir cevheri ve hurda demir) % 70 düzeyindedir. Çelik üretiminde ark ocaklarının büyük payı (%

76) ülkemizi dünyanın en büyük hurda alıcısı (20 milyon ton/yıl) durumuna getirmiştir.

2013 yılında dünyada kullanılan koklaşabilir kömür ihtiyacının 1/3’ü (□300 milyon ton) çeşitli ülkelere ithal yoluyla karşılanmaktadır. Ülkemiz 6 milyar ton kadar koklaşabilir kömür ithaliyle pazardaki koklaşabilir kömürün % 2’sine taliptir. 22 milyon ton buhar kömürü ithalatıyla pazardaki buhar kömürünün % 2,2’sine taliptir İthalatçı ülkeler arasında Türkiye 7.-10. sıralarda yer almakta olup bu durum ülkemizin önemli bir alıcı olduğunu göstermektedir.

### 1.2 Amasra B Projesinin Önemi

Türkiye’de 250.000 MWh toplam elektrik üretiminin 73.000 MWh kadarı (%29) kömürden yapılmaktadır (taşkömürü ve linyit yarı yarıya) (TMMOB,2015 ve 2016).

ETKB 2015-19 Stratejik Planında yerli kömüre dayalı elektrik üretiminin 60.000 MWh’a çıkarılması hedeflenmektedir (ETKB,2013).

Yerli taşkömürü kaynaklarımızın yaklaşık yarısının değerlendirilmesini içeren Amasra B Projesi ciddi üretim hedefi ile Türkiye’nin elektrik üretiminde stratejik hedeflerine ulaşmasında önemli bir proje olarak görünmektedir. Projenin tam kapasitesine ulaşma aşamasında demir-çelik sektörümüzün hammadde ithalatının bir kısmını da ikame etme potansiyeli bulunmaktadır.

Bu bildiriye 2005 yılında Türkiye Taşkömürü Kurumu’nca (TTK) yapılan ihale ile HEMA Endüstri A.Ş.’ye rödevansla işletmek üzere devredilen Amasra B havzasında madencilik çalışmalarında 10 yıllık sürecin ve geline noktanın genel bir değerlendirmesinin yapılması hedeflenmiştir.



Eylül 2005 tarihli (2 bölüm halinde) Ön Proje Raporu'dur. Bu raporda, önceki yıllarda Kopex firmasınca TTK için yapılan çalışmada önerilmiş olan kuyu yerlerinden de yararlanarak başlangıç için batı sahasında (mevcut TTK İşletmesine komşu sahada) mekanize üretime olanak vereceği düşünülen rezerv üzerinde 3 kuyulu bir ocak tasarımı yapılmıştır. Daha sonra 1 yıl içinde çeşitli uluslararası firmalara irili ufaklı projeler yaptırılmıştır.

TTK'nın nihai proje talebi üzerine Hema Endüstri A.Ş., 17.04.2006 tarihinde, Amasra Müessesesinin ihraç tesislerinin atıl kapasitesinden faydalanılmasını ve Müessesenin en derin kotundan -435 kotuna desandre ve irtibat galerisi sürülmesine izin verilmesini içeren bir talep yazısı ile birlikte, bu kapsamda hazırladığı alternatif bir işletme projesini de içeren bir avan proje sunmuştur.

Bu avan projenin özgün durumunda üretime 67 ay sonra başlanabilmektedir. Amasra T.İ.Müessesesi alt yapısından yararlanılabilmesi şeklinde sunulan seçeneğin Kurumca kabulü durumunda ise üretime 18 ayda geçilebilmektedir. TTK yönetimince üretime kısa sürede başlanılmasını hedefleyen bu alternatif uygun bulunmasına rağmen Genel Maden İşçileri Sendikası Başkanlığı tarafından, Kurum aleyhine açılan yürütmenin durdurulması talepli dava ile TTK'nın kararı iptal edilmiştir.

Teknik olarak makul bir gerekçesi olmayan bu iptal, projenin hayata geçirilmesinde önemli bir ivme/motivasyon kaybı yaratmıştır.

### 2.3 İhale Sonrası Değişiklikler ve Mevcut Durum

TTK'nın Hema Endüstri A.Ş. ile yapmış olduğu Amasra-B Sahasının Sözleşmesi 21.06.2011 tarihinde Hema Dış Ticaret A.Ş.'ye devredilmiştir. Hema Dış Ticaret A.Ş. Firması da ticari unvanını 15.08.2012 tarihinden itibaren Hattat Enerji ve Maden Ticaret A.Ş. olarak değiştirmiştir.

Hazırlık dönemi çeşitli zamanlarda 3 kez yenilenmiş / uzatılmış olup son durum şu şekildedir:

- Hazırlık dönemi : 10.05.2006-21.01.2013
- Hazırlık Dönemi son yıl üretim taahhüdü: 500 000 t
- İlk 3 Üretim Yılı üretim taahhüdü: 2 500.000 t

### 2.4 Uzatma Taleplerinde Yaşanan Sorunlar

Süre uzatım kararları ihale sözleşmesindeki "madencilik faaliyetlerini engelleyici zorunlu sebepler" başlıklı maddedeki "hükümet veya yasal merciler tarafından alınan ve bu sözleşme hükümlerinin yerine getirilmesini olanaksız kılacak tedbirler" hükmüne dayanılarak yapılmaktadır.

Hema Endüstri A.Ş. firmasının 2008 yılındaki ilk uzatma talebinde; proje ve yatırım aşamasında bürokratik işlemler nedeniyle meydana gelen ve firmadan kaynaklanmayan gecikmeler için ek süre verilmesi TTK Yönetim Kurulunca uygun bulunmuştur.

Ancak, bu süre uzatımının iptali için Enerji, Sanayi ve Maden Kamu Emekçileri Sendikası, Eğitim-Sen Bartın Şubesi Başkanı, BES Bartın Şubesi Başkanı, TMMOB İl Temsilciliği, GMİS Amasra Şube Başkanı, Atatürkçü Düşünce Derneği Başkanı ve Bartın Baro Başkanı başvuruda bulunmuşlardır. Zonguldak Cumhuriyet Başsavcılığı'nın kovuşturmayaya yer olmadığı kararı Bartın Ağır Ceza Mahkemesince kesinleştirilmiştir.

Bu durum, Meslek Örgütleri ve Sivil Toplum Kuruluşları nezdinde yeterli bir Halkla İlişkiler çalışması yürütülemediğini ve gerek TTK gerekse HEMA tarafından projenin yöreye katkısı konusunda kamunun yeterince bilgilendirilemediğini göstermektedir. TTK ve kamu kuruluşları bu konuda HEMA'yı yalnız bırakmıştır.

Enerji ve Tabii kaynaklar Bakanlığı Teftiş Kurulu Başkanlığı'na aynı konuda iletilen şikayet dilekçesi üzerine hazırlanan raporda; süre uzatım talebinin haklı gerekçelere dayandığı, TTK'nın uzatma kararının uygun olduğu, Hema'nın önemli miktarda bir yatırım yaptığı, ciddi olarak çalıştığı ve işini zorlaştırmanın doğru bir yaklaşım olmayacağı belirtilmiştir.

2009 yılında TTK tarafından verilen 2. süre uzatımı kararının iptali için de Genel Maden İşçileri Sendikası (GMİS) tarafından Kurum aleyhine Zonguldak İdare Mahkemesine açılan dava reddedilmiştir.

TTK Yönetiminin Ocak 2012'de 3. Kez talep edilen ek sürenin sadece yaklaşık % 25 kadarını makul görmesi; projenin gerçekleştirilmesinde ciddi teknik problemlerle/engellerle karşılaşılması yanında Hema A.Ş Yönetiminin kamu kurumları ve idari mercilerce önlerine konulan bazı bürokratik engelleri aşamadığından dolayı yeterli faaliyet gösteremediğini anlatan bir durumdur.

36 ay olarak öngörülen hazırlık süresinin üç kez uzatılmasıyla, hazırlık süresi toplam 80 ay 12 gün olmuştur.

Ağustos 2012'de yapılan son uzatma talebi TTK'ca uygun görülmemiş ve Firma Kurum'a karşı "verilen uzatma sürelerinin yetersizliği nedeniyle" açtığı davayı kazanarak Ocak 2013 ten itibaren 40 ay ek süre almıştır (TTK'nın itiraz süreci sürmektedir).

### 3. PROJENİN GELİŞMESİ

Bugüne kadar yapılan çalışmalar esas itibarıyla arama ve hazırlık işlerinde yoğunlaşmış olup sahadaki alt yapının (özellikle enerji ve ulaşım) büyük bir maden işletmesine hitap edecek duruma getirilmesi için büyük çaba harcanması ve yatırım gerekmiştir. Özellikle yerüstünde kurulacak alt yapı için bürokratik engellerin aşılmasında büyük güçlükler yaşanmış ve yaşanmaktadır.

#### 3.1 Arama İşleri ve Rezerv Belirleme

Hema tarafından; 1100 m kapasiteli 2 makina, 1500 m kapasiteli 3 makina ve 2000 m kapasiteli 1 makina ile toplam 120 000 m uzunlukta 130 sondaj tamamlanmış olup sahada öncekilerle (MTA) birlikte 260 sondaj bulunmaktadır. Özellikle jeoloji, stratigrafi, paleontoloji vb konularda çalışan araştırmacılar için bir hazine değerinde çok iyi korunmuş bir karot bankası oluşmuştur.

SLR Consulting Firmasınınca Temmuz 2009'da hazırlanmış olan rezerv değerlendirme raporuna göre sahadaki

mevcut rezerv: 413 Mt.görünür ve 160 Mt. muhtemel+mümkün olmak üzere toplam 573 Mt. olarak kesinleşmiştir. (Bu çalışmada, madencilik faaliyetleri dikkate alınmış olup kömür kökenli metan (CBM) ile ilgili gelişmeler değerlendirmenin dışında tutulmuştur)

#### 3.2 Hazırlık Çalışmaları

Amasra –B projesi, yaklaşık olarak 500 milyon ton taşkömürü varlığının bulunduğu geniş bir alanda hayata geçirilecek ve üretim -400 ve daha derin kotlarda yapılacaktır. Bu özellik dikkate alınarak; saha üzerinde 3 farklı lokasyonda 3 ayrı kuyu yeri seçimi yapılmıştır. Üç karo sahasına da çeşitli tesisler kurulmuş, büyük tonajlı makine ve teçhizatın taşınabilmesi için karayolu bağlantıları yapılmış, enerji temini sağlanıp, -410 ve -510 ana katlarında ön hazırlıklar tamamlanmıştır.

Aşağıda adları ve derinlikleri verilen 8 m. çapında 3 adet derin kuyunun açılması, Çinli DATONG firmasınınca gerçekleştirilmiştir:

Tarlaağzı 1 No.: 700 m

Kazpınar 2 No.: 730 m

Amasra 3 No. : 580 m

Ayrıca Mayıs 2011'de TTK'ya sunulan "yüzey kömürleri üretim projesi" +160/-250 kotları arasındaki bulunan 700 000 t rezervin hazırlık ve üretimini (705 ton/gün) hedeflemektedir.

#### 3.3 Alt Yapı Çalışmaları

Firmanın; Haziran 2006'daki 40 MVA'lık güç talebi Eylül 2006 da kabul edilmiş olmasına karşın Firmanın ve TTK'nın inisiyatifi dışındaki gecikmeler düşük kapasite ile çalışılmasına ve termin planında önemli aksamalara yol açmıştır.

Firma, aksamaları minimize edebilmek amacıyla; Bartın-Cide hattından alınan enerjiyi Kazpınarı ana dağıtım tesislerine nakledecek olan 3 km uzunluğundaki 154 kV nakil hattını kendi olanaklarıyla tamamlamıştır. Keza, Kazpınarı mevkiinde 154/31,5 kV şalt tesisi ve trafo istasyonunu yatırım programında olmamasına rağmen çok yüksek miktarda harcamalar yaparak kurmak durumunda kalmıştır. Tüm bu çalışmalara karşın 3 kuyuya talep edilen miktarda enerji gücünü iletecek enerji nakil hattı; orman izinleri, kamulaştırma, enerji nakil hattının karayolu geçiş izinleri gibi bürokratik işlemler nedeniyle güçlükle

tamamlanabilmektedir. Bu durum; makina ve donanımları hazır olmasına rağmen lavvarların kurulamaması, kurulmuş olan ana vantilatör tesislerinin çalıştırılmaması, yurt dışından sipariş edilen ağır makina ve donanımlarının yeraltına indirilememesi gibi sorunlara yol açmıştır ki gerek hazırlık çalışmaları ve gerekse üretim termini olumsuz olarak etkilenmiş, gecikmeler kaçınılmaz olmuştur.

Üç karo sahasına çeşitli tesisler kurulmaya devam edilmektedir. Büyük tonajlı makina ve teçhizatın taşınabilmesi için karayolu bağlantıları yapılmış olup işletme aşaması için enerji temini çalışmaları sürdürülmektedir.

Firma proje kapsamında yapılacak faaliyetler için ve tam kapasite ile üretime geçildiğinde eski Amasra-Bartın karayolunun oluşacak ağır trafiği kaldıramayacağı gerekçesiyle mevcut karayolunun altından geçecek ve Tarlaağzı Balıkçı Barınağı ile Tarlaağzı ve Gömü Köylerini yeni yapılan Amasra-Bartın yoluna bağlayacak 3km'lik bir karayolu yapmak üzere İl Özel İdaresi nezdinde girişimde bulunmuştur. Halen bir sonuç alınamamıştır.

### 3.4 İzinler ve Kamulaştırmalar

İhale Sözleşmesinde “işletmeci, işletme projesinde belirlediği kamulaştırılması gereken alanlarla, intifa ve irtifak hakkı alınması gereken alanlardan, işletme safhasında gerekli olacak alanları tespit ederek gerekli tüm bilgi ve belgeleri ilgili kanun, tüzük ve yönetmelik hükümlerine uygun olarak hazırlayarak TTK'ya bildirecektir. TTK'nın onayından sonra gereken işlemler TTK tarafından gerçekleştirilecek..” hükmü bulunmaktadır. Ancak, bu süreçte çıkarılan bürokratik engeller, gerek TTK gerekse idari mercilerce işlemlerin hızlı bir şekilde yürütülmesi için gerekli hassasiyet ve özen gösterilmeyerek işlemlerin takibinin gereğince yapılmaması, projedeki gecikmelerin başlıca nedenlerinden olmuştur.

Firma; imzalamış olduğu rödevans sözleşmesine dayanarak 2006 yılından bu yana 50 adet parselde öncelikle gerek kuyuların açılacağı yerler, gerek şantiye atölye ve sosyal tesislerin kurulacağı yerlerin kamulaştırma işlemlerinin yapılması için TTK'ya başvurmuş, ancak olumlu bir sonuç

alamamıştır. Gecikmeleri önlemek için, özellikle kuyu yerlerinin parsellerinin sahiplerine arazi alımları için yüksek miktarlarda ödemeler yapılmak zorunda kalınmıştır. Bu konudaki sorunlar halen devam etmektedir.

## 4 PROJENİN SON DURUMU

Hattat Enerji ve Maden Ticaret A.Ş., Aralık 2014'de son halini verdiği projenin tarafsız bir teknik değerlendirmesini SRK Consulting firmasından talep etmiştir. SRK, Mart 2015'de Projenin fizibl olduğunu da belirtir raporunu sunmuştur.

Proje; tam mekanize ayaklardan 3 bloktan 5 milyon ton/yıl tüvenan üretim hedeflemektedir. Doğu blok için 1 ve 3 no.lu kuyular batı blok için iki yatay galeri ve 2 no.lu kuyu hizmet verecektir. Yüzey kömürleri üçüncü bloktur. İleriki yıllarda 4. saha olarak güneydoğu devreye girecektir.

Üretimin doğu blokta Aralık 2016'da, batı blokta Ağustos 2018'de güneydoğu blokta Haziran 2030'da başlaması planlanmıştır.

Havalandırma açısından ocak 2 sektöre ayrılmaktadır: doğu sektörü ve batı/güneydoğu/yerüstü kömürleri sektörü. Doğu sektörü 1 ve 3 no.lu kuyulardan ve diğer sektör yerüstünden sürülen galeriler ile 2 no.lu kuyudan yararlanılarak emici olarak havalandırılacaktır. 1 no.lu kuyu yanında modern bir metan drenaj sisteminin ana unsurları kurulmuştur. Metanın % 35'inin tutulacağı öngörülmektedir.

Projede tüm tüvenan üretimin yıkanarak buhar kömürü olarak satışı öngörülmekte ise de bir miktar daha kaliteli yıkanmış kömür veya koklaşabilir kömür ürünü elde etme olasılığı da bulunmaktadır. Kurulacak lavvar 5 milyon ton/yıl yıkama kapasitesiyle Türkiye'de örneği olmayan çok büyük bir tesis olacaktır.

Uzun vadeli olarak 1 no.lu kuyu yanına bir termik santral kurulabilmesi mümkün görülebilmektedir.

Projede akrosaj ve havuzlar da dahil toplam 34.343 m galeri sürülecektir. Sürülecek toplam taban yolları ise 251.134 m dir.

Amasra B; ekonomik olarak işletilebilir bir yeraltı taşkömürü ocağının kurulmasına çok uygun bir maden sahasıdır.

Yerli ve yabancı buhar kömürü pazarları açısından elverişli bir konuma sahiptir. Ayrıca, koklaşabilir ve PCI kömür üretme potansiyeli de azımsanmayacak düzeyde olup bunun pazarı da hazırdır.

Bugüne değin yapılan yeraltı hazırlıkları, yapılmış olan sondajlardan sağlanan bilgileri büyük ölçüde doğrulamaktadır. Hazırlanmış olan projede öngörülen işletme ömrü dışında sahada çok daha uzun ömürlü bir madencilik kapasitesine yeterli rezerv vardır.

Sondaj karotları veri bankası, yerli ve yabancı araştırmacılar için görkemli bir kaynak olmuştur.

Ocak tasarımı ve planlama çalışmaları son safhaya ulaşmıştır.

Üç kuyu ve ana hazırlıkların çok büyük bir kısmı tamamlanmıştır.

Yüzey kömürleri sektöründe giriş galerileri tamamlanmış ve ilk üretim panolarında hazırlık çalışmalarına geçilmiştir.

Kuyular ve galeriler çevresindeki yerüstü alt yapısı hızla geliştirilmektedir. Tüm bu çalışmalarda modern teknolojiler kullanılmaktadır.

Taşkömürü madenciliğinde otorite olan ülkelerden önemli bir ekipman alımı (vantilatörler, vinçler, trafolar, galeri açma makinaları...) gerçekleştirilmiştir.

Teknik ve idari yönetim yapısı oturmuştur. Proje, gecikmelerle de olsa bugünkü takdir edilecek düzeye gelmiş olup hızla gelişmesini sürdürmektedir.

Toplam yatırım yaklaşık 708 milyon Euro ve tam kapasitede (2033'te) işletme giderleri 134 milyon Euro/yıl olarak hesaplanmıştır.

Hema bugüne değin (2005-2014) öz kaynaklarından 179 milyon Euro harcamıştır. Kalan yatırımın 249 milyon Euro kısmı ilk üç yılda yapılacaktır

## 5 SONUÇ

Türkiye'nin olumsuz enerji dengesi onu bir enerji ithalcisi ülke konumuna getirmiştir. Kömür varlığımız bu konuda potansiyel bir umut olarak görülmektedir. Ancak, Termik Enerji Santrallerinde ithal kömür hakim durumda olup bu durum ülkemizi önemli bir taşkömürü ithalatçısı yapmaktadır. Yerli kömürün aleyhine olan koşulların başlıca

nedeni linyitlerimizin kalitesinin düşüklüğüdür.

Amasra B Projesi, kömür kalitesi açısından çok büyük bir üstünlüğe sahiptir. Projenin gerçekleşmesiyle, koklaşabilir niteliği olmayan Havza kömürlerinin değerlendirilmesinin yanısıra baz yük açısından elektrik enerjisinde dışa bağımlılığın azalmasına ve yöresel olarak (başta Bartın ve çevresi olmak üzere) ciddi bir istihdam yaratılmasına katkı sağlanacaktır.

Yerli kömüre dayalı termik santral projeleri uzun ve zahmetli bir yatırım dönemi gerektirdiğinden az sayıda müteşebbisin cesaret edebildiği bir girişimdir. Enerji sektörüne girmeyi hedefleyen yatırımcılar için, 3-4 yılda geri dönüşün başladığı ve riskli bir madencilik yatırımının söz konusu olmadığı hazır ithal kömür, kolaycı bir çözüm olmaktadır. Bu durumda ülkenin kendi birincil kaynaklarına başvurmadan, dışa bağımlı olarak enerji üretimini arttırmak dışında bir kazanımı olmadığı gibi döviz geliri ve istihdam olanağı ise ithalin yapıldığı ülke için kazanım olmaktadır.

Yukarıdaki açıklamalar gereğince beklenen; yerli kömüre dayalı girişimlerin özel destek görmesidir. Ancak uygulamada bu sağlanamamaktadır. Şöyle ki:

-Kamu kurum ve kuruluşlarından alınması gerekli izin ve onayların koşullarında ve gerekli sürelerin tahminindeki belirsizlikler /bilinmezlikler projenin gerçekleşme süresini gereksiz yere çok uzatabilmektedir. Örneğin; Amasra B Projesinde ocağın işletilmesi için gerekli olan enerjinin sağlanmasında bu nedenlerle ciddi gecikmeler yaşanmıştır.

-Yatırımın boyutunun çok büyük oluşu ve geri ödeme süresinin uzamasına karşın uzun vadeli finansman olanakları kısıtlıdır ve maliyeti yüksektir.

-Sivil toplumun, kömürün temiz teknolojilerle yakılmadığı santrallerin yarattığı tahribattan gözünün korkması nedeniyle, termik santral kurulmasına tamamen karşı olması şeklinde oluşan yargının aşılabilmesi için büyük çabalara gerek vardır.

Proje, yeni ve büyük bir ocak açılacağından ve ciddi bir rödevans geliri ve istihdam sağlanacağından dolayı Hükümet ve TTK tarafından desteklenmekte ise de bu destek çoğunlukla yetersiz kalmaktadır.

Keza, zorunlu arazi alımları, kuyu yerleri ve orman geçişleri için ödenen bedeller nedeniyle çeşitli kamu kurum ve kuruluşları da projeye ilgilidirler ancak, sorun çıkarmaktan da geri kalmamaktadırlar. Bu

sorunlar kısmen, tipik “inisiyatif almaktan ve yardımcı olmaktan çekinen kamu görevlileri”nden kaynaklanmaktadır.

Örneğin; henüz kömür üretimine başlanmamış olan şirkette; “çift yevmiye” ve “çalışma saatlerinin azaltılması” gibi yeraltı işçilerine yönelik iyileştirmelerin devlet desteği olmaksızın uygulanmasının, yatırım sürecinde ek külfet ve adaletsizlik olacağı açıktır.

İhale aşamasında hiçbir altyapısı olmayan bir sahada gerçekleştirilecek olan projede ihale şartına göre yılda 2,5 milyon ton taşkömürü üretimini hedefleyecek (bugün 5 milyon ton/yıl tüvenan hedefi konmuştur) derin bir yeraltı ocağının; açılacak üç kuyu, sürülecek km’lerce galeri, taban yolu ve ilgili mevzuat gereği alınacak yüzlerce izin varken tüm hazırlıklarının 36 ayda tamamlanması teknik olarak olanaklı görülmemektedir. Dolayısıyla; firmanın hazırlık süresini 36 ay olarak teklif etmesi ve uzman bir kuruluş olan TTK’nın da buna onay vermesi her iki taraf açısından sorgulanması gereken bir husustur.TTK sözleşmede bu sürenin en fazla 96 ay (8 yıl) olduğunu zımnen beyan etmiştir. TTK ve Firma arasındaki en önemli uyumsuzluk / huzursuzluk konularının başında bu gelmektedir. Ancak, bunlar karşılıklı iyi niyetle aşılamayacak güçlükler değildir.

Amasra Havzası kömürlerinin genelde “kaliteli buhar kömürü” niteliğinde oluşu ve ekonomik olarak değerlendirilebileceği enerji tesislerinin Havza coğrafyası içinde olmasının zorunlu oluşu nedeniyle karşısındaki tek seçeneğin bu servetten vazgeçilmesi olduğu ve bunun da yöre kalkınması ve istihdam için ciddi bir fırsatın heba edilmesi anlamına geleceği sivil topluma anlatılmalı, seçilen yakma teknolojisi gerçekten temiz olmalı ve samimi olarak tanıtımı yapılmalıdır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu bildirin hazırlanması sırasında gerekli tüm bilgi ve dökümanı sağlayarak destek veren TTK ve Hattat A.Ş. yönetici ve teknik elemanlarına teşekkürü bir borç bilirler.

## KAYNAKLAR

- Didari,V.,Akçın,N.A.,2016. *Amasra B Projesinde 10 Yıllık Yatırım Sürecinin Teknik ve İdari Yönden Genel Değerlendirmesi*, DÖS Raporu, BEÜ Zonguldak, 32 s.  
ETKB, 2013.*Türkiye Yıllık Enerji İstatistikleri*

- Raporu, www.enerji.gov.tr*  
TMMOB Makina Müh.Odası Raporları, 2015 ve 2016. *Türkiyenin Enerji Görünümü*  
World Coal Association (WCA),2014.Coal Facts, www.worldcoal.org  
International Energy Agency(IEA),2014.Coal Information, www.iea.org

# Uluslararası Rezerv Standartları – Konya-Karapınar/Karaman-Ayrancı Kömür Havzasının CRIRSCO Standartında Rezerv Raporlaması

## *International Reserve Standards- Reporting of Konya-Karapınar/Karaman-Ayrancı Coal Basin at CRIRSCO Standards*

Cumali Taştekin, Ebru Ata, Ümit Yüksek  
(EÜAŞ Maden Sahaları Dairesi Başkanlığı, ANKARA)

**ÖZET** MTA tarafından KONYA-Karapınar / KARAMAN-Ayrancı kömür sahasında 2005-2007 yılları arasında, 408 adet (106.000 metre) arama sondajı yapılmış ve 1,8 milyar ton kömür kaynağı tespit edilmiştir. Bu kaynağa dayalı işletilebilir rezerv belirlenmesi amacıyla birçok etüt ve araştırma yürütülmektedir.

EÜAŞ; bu havzadaki kömür kaynağı için; uluslararası bankacılık, finans ve yatırımcı kuruluşlar tarafından itibar edilebilir nitelikte, CRIRSCO standartlarında, güvenilir, doğru, şeffaf, denetlenebilir arama sonuçları veri tabanı elde edilmesi ve ulaşılan sonuçların aslına uygun rapor edildiğinin bağımsız bir uzman (QP/CP) tarafından doğrulandığı bir rezerv raporu hazırlanması amacıyla bir çalışma başlatmıştır.

Bu çalışma, Kamu'da ilk olarak yapılmaktadır.

Bu çalışmanın sonucunda; bu saha için uluslararası banka, finans ve yatırımcı kuruluşlar tarafından kabul gören uluslararası standartlarda kaynak ve rezerv raporu elde edilecek ve projenin en kısa sürede yatırıma dönüşmesinde önemli bir aşama geçilmiş olacaktır.

**ABSTRACT** Between 2005-2007, 408 research drillings (106.000 meters) were made by MTA and a coal reserve of 1,8 billion tons was found in the KONYA-Karapınar/KARAMAN-Ayrancı coal field. Many surveys and researches are being carried out in order to determine the operable reserves based on this resource.

EÜAŞ has started a study, for the coal reserve in this basin, to ensure that reliable, accurate, transparent, auditable research results, databases are obtained by qualified persons (QP/CP) in accordance with CRIRSCO standards, which are credible to international banking, financial and investor organizations, and that the results achieved are appropriately reported in accordance with actual facts. This study is the first in the public sector.

As a result of this study; a resource and reserve report at international standards, which is accepted by international banks, financial and investor organizations will be obtained for this basin and an important phase will have been achieved for passing to an investment stage in this project, as soon as possible.

**Anahtar kelimeler:** Maden, Kaynak, Rezerv, CRIRSCO



## 1. GİRİŞ

MTA tarafından KONYA-Karapınar / KARAMAN-Ayrancı kömür sahasında 2005-2007 yılları arasında, 408 adet (106.000 metre) arama sondajı yapılmış, bu çalışmalar sonucunda 1,8 milyar ton kömür kaynağı tespit edilmiştir. Rezervin ortalama AİD:1374 kcal/kg, nemi % 47.78, külü %20.88, toplam kükürt % 1.5'dir.

Bu kaynağa dayalı işletilebilir rezervin belirlenmesi ve bir termik santral kurulması amacıyla birçok etüt ve araştırma yürütülmektedir.

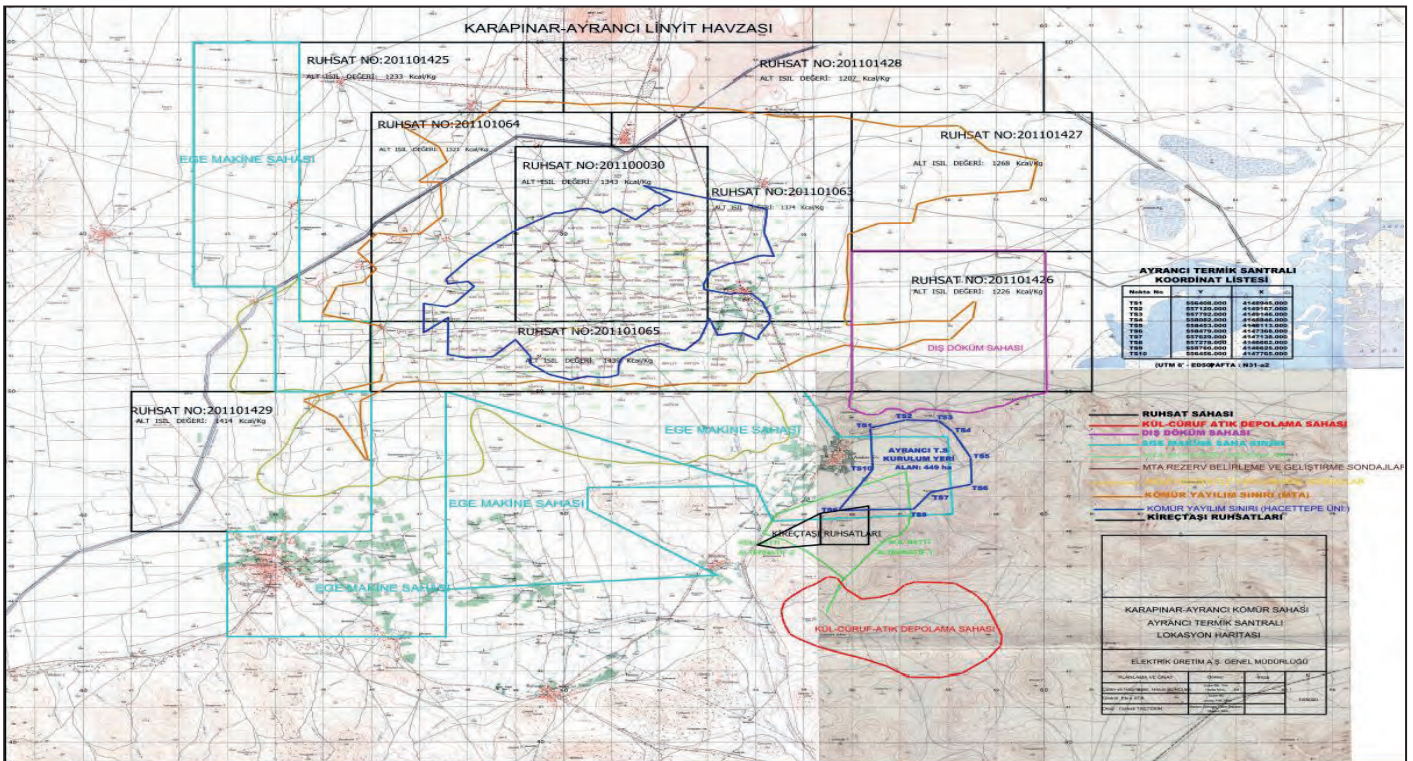
Yatırımcılarla yapılan görüşmelerde, kömür kaynağı için, uluslararası bankacılık, finans ve yatırımcı kuruluşlar tarafından itibar edilebilir nitelikte veriler elde edilmesi, uluslararası yatırımcılardan projeye ortak bulunması ya da uluslararası banka ve finans kuruluşlarından proje kredisi alınabilmesi için; uluslararası borsa, banka ve finans çevreleri tarafından genel kabul gören CRIRSCO (Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards) ve benzeri standartlara (JORC, NI-43-101 vb.) uyumlu

bir sistem içerisinde türetilmiş ve rapor edilmiş arama sonuçları, kaynak ve rezerv tahminlerine ihtiyaç olduğu görülmüştür.

Bu amaçla, bahse konu standartlara uygun şekilde, Sondaj, Karot Muhafaza ve Nakliye, Jeofizik Loglama, Jeolojik Loglama, Jeoteknik Loglama, Özgül Ağırlık Testi, Karot Örneklemeye ile Numune Hazırlama, Analiz ve Numune Güvenliği Protokolleri hazırlanmıştır. Bu protokollere uygun olarak sahada sondaj çalışmalarına başlanmıştır. Ayrıca, aynı kapsam ve standartta jeoteknik etüt ve hidrojeolojik etüt çalışması yapılmaktadır.

Sondajlardan alınan karotlar, EÜAŞ tarafından kurulan "Karot Bankası"nda muhafaza edilmektedir.

Bu çalışma, kamuda ilk defa yapılmakta olup, Uluslararası standartlarda kaynak ve rezerv raporu hazırlanması için JORC (Australasian Joint Ore Reserves Committee) standartlarında saha ve büro uygulamaları kapsamlı bir şekilde anlatılmaktadır.



Şekil 1. Konya/Karapınar-Karaman/Ayrancı Havzası Sektör Haritası (EÜAŞ).

## 2. ULUSLARARASI KAYNAK VE REZERV RAPORLAMA (CRIRSCO) STANDARTLARI

Geçmişte Avustralya ve Kanada'da yaşanan borsa skandalları neticesinde Dünyada, maden arama sonuçlarının halka rapor edilmesinde bazı standart ve sıkı kurallar getirme ihtiyacı doğmuştur. Özellikle, hisseleri borsada işlem gören madencilik şirketlerinin yaygın olduğu Avustralya'da (Poseidon, 1969) ve Kanada'da (Bre-X, 1997) yaşanan iki önemli skandal bunda etkili olmuştur.

Poseidon skandalında, ilgili firma, 29 Eylül 1969 tarihinde borsaya gönderdiği yazıda, kendisine ait ruhsat sahasında yaptığı bir sondajda yüksek tenörlü (%3,5 Ni, %0,5 Cu) nikel-bakır cevheri kestiğini, cevher zonunun 1000 ft uzunluğunda ve minimum 65 ft kalınlığında olduğunu belirtmiştir. Bu bilginin borsa tarafından yayınlanması üzerine, 1 Ekim 1969 tarihinde 1.15 Dolar seviyesinde seyreden hisse senetleri hızlı bir yükselişe geçerek 11 Mart 1970'de 280 Dolar'a ulaşmıştır. Daha sonra bu haberin uydurma olduğu anlaşılmış, şirket batmış ve hisse senedi alanlar büyük zararlara uğramıştır. Yaşanan bu skandal üzerine, 1971 yılında Avustralya hükümeti çözüm arayışına girmiş ve borsaya müdahil olan tüm taraf temsilcilerinin içinde yer aldığı bir komite kurarak, 1989 yılında maden arama sonuçlarının rapor edilmesi standartlarını içeren bir yönetmelik yayınlamıştır.

JORC kodu 1992, 1996, 1999 ve 2004'te yeniden gözden geçirilmiş, bu arada 2000 ile 2003 yılları arasında, tümüyle birbirine benzer kodlar ve kılavuzlar Güney Afrika, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere ve diğer bazı Avrupa ülkeleri tarafından JORC 1999 örnek alınarak kabul edilmiştir. JORC kodunun en son versiyonu 2012 yılında yayınlanmıştır.

Halen yaygın olarak kullanılan kaynak ve rezerv raporlama standartları aşağıda verilmiştir:

- 1) JORC-Code, Joint Ore Reserves Committee, (Avustralya)
- 2) NI 43-101, National Instrument 43-101, Standards of Disclosure for Mineral Projects, (Kanada)
- 3) SME-Guide, The Sme Guide for Reporting

Exploration Results, Mineral Resources, and Mineral Reserves, (Amerika Birleşik Devletleri)

4) PERC, Pan-European Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Reserves, (Avrupa Birliği ülkeleri)

5) SAMREC, The South African Code for The Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves, (Güney Afrika)

Değişik ülkelerdeki rapor etme düzenlemelerinden yararlanarak, tüm dünyada uygulanabilir ortak standart çalışmaları başlatılmış ve oluşturulan taslaklar üye ülkelerin görüşüne sunulmuştur. Bunlar:

- 1) CRIRSCO, Combined Reserves International Reporting Standarts Committee,
- 2) UNFC, United Nations Framework Classification For Fossil Energy and Mineral Resources.

JORC ve benzeri düzenlemelerin üç temel özelliği vardır:

- 1) Somutluk
- 2) Saydamlık
- 3) Uzmanlık

Somutluk ilkesi; kaynak arama, mineral kaynak ve rezerv sonuçlarını içeren kamuya yönelik olarak hazırlanmış bütün raporların, yatırımcıların ve onların mesleki uzmanlarınca zorunlu olarak istenen tüm somut bilgileri içermesini gerektirir ve uzmanların makul ve dengeli bir karara varabilmeleri için bu bilgilerin uzmanlarca arandığında rapor içerisinde bulunabilmesini zorunlu kılar.

Saydamlık ilkesi; kamu için hazırlanmış raporların okuyucu için gerekli bilgilerle dolu olmasını, bu bilgilerin okurun raporu anlaması için açık bir şekilde hazırlanıp sunulmasını zorunlu kılar.

Uzmanlık ilkesi; kamu için hazırlanan raporun uzmanlık yetisine ve deneyimine sahip "Yetkin Kişilerce" (Competent Persons) hazırlanmasını ve bu yetkin kişilerin de üyesi oldukları mesleki örgütlerinin, üyeleri üzerinde uygulayacağı bir mesleki etik tüzüğünün olmasını gerektirir.

CRIRSCO standartlarında yer alan kodlarda tanımlandığı üzere, "Yetkin Kişiler"

tarafından hazırlanan raporların amacı raporlara somutluk, saydamlık ve yetkinliği getirmektir. “Yetkin Kişiler” mineral kaynak ve rezervlerinin tahminine ulaşmadan önce, birçok noktayı da denetlemek zorunda olduklarından, bu kodlar Yetkin Kişilere önemli sorumluluklar yükler.

JORC’a göre bir mineral kaynağı, yer yuvarının kabuğunda yer alan, ekonomik değere sahip, şekli, tenörü (ya da kalitesi) ve niceliği bilinen ve belli bir süre sonra ekonomik olarak çıkartılma olasılığı olan, katı malzeme konsantrasyonu ya da oluşumudur. Bir mineralin yeri, niceliği, tenörü (ya da kalitesi), sürekliliği ve diğer jeolojik özellikleri numuneleme de dâhil olmak üzere kesin jeolojik kanıtlara ve bilgilere bağlı olarak bilinir, tahmin edilir ya da yorumlanabilir. Mineral kaynakları jeolojik güvenilirliğe bağlı olarak Olabilir (inferred), Belirlenmiş (Indicated) ve Ölçülmüş (Measured) olarak alt kümelere ayrılır.

Dünyada rezerv, “Belirlenmiş” ya da “Ölçülmüş” kaynakların ekonomik anlamda madencilik uygulayarak çıkartılacağı bölümü için kullanılan bir terimdir. İçerisinde cevherin çevresinden gelen ve cevhere ait olmayan yabancı malzemeyi de içerip (dilution), ön-fizibilite ve fizibilite çalışmalarıyla belirlenmiş ve dönüştürücü etkenlerin de uygulandıktan sonraki cevherin işletmesi sırasında olabilecek kayıpları da kapsar (Yıldırım, S).

CRIRSCO kodlarına göre hazırlanan raporlarda kaynakların rezerve çevrilirken ayrıntılı ön fizibilite ya da fizibilite çalışmasının olması gerekmektedir. Uluslararası normlara uymayan bir ön fizibilite ya da fizibilite çalışması yoksa rezervlerin varlığının yatırımcılara duyurulması da mümkün değildir.

Dönüştürücü etkenler kaynakların rezerve dönüştürülmesinde en önemli ölçütlerdir ve bu ölçütler, madencilik, cevher hazırlama, metalürjik işlemler, alt yapı, ekonomi, pazarlama, yasal, çevresel, sosyal etkileri içerir.

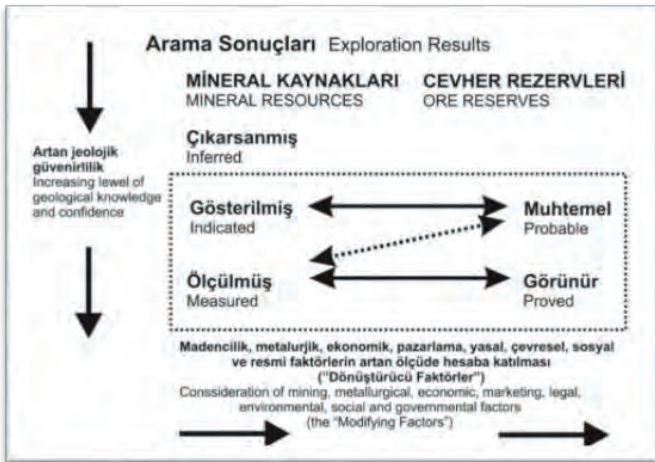
JORC benzeri düzenlemelerin sağladığı en büyük avantajlar şunlardır:

- 1) Kurumlar, borsalar, yatırımcılar ve finansmanlılar tarafından geniş kabul görmesi
- 2) Raporların, işi bilen deneyimli uzmanlar tarafından hazırlanması nedeniyle karar mekanizmasında yer alanlara ek güvence vermesi;
- 3) Her şey çok saydam olduğu için rapor sonuçlarının herkes tarafından kolaylıkla irdelenebilir olması;
- 4) Bütün mineral hammaddeler için uygulanabilir olması
- 5) Katı kurallar içermek yerine Yetkin Kişiyi uzmanlığını ve mesleki kararlarını uygulaması için geniş bir kişisel özgürlük vermesi ve yaptığı işlerin hesabını bağlı olduğu kuruluşlara ve onların etik kurullarına verir olması;
- 6) Esnek olduğu için Yetkin Kişiyi genel ve ender görülen durumlara uygun yöntemleri seçme ve kullanma özgürlüğünü vermesi
- 7) Değişen dünya koşullarına göre kodun, sürekli ve düzenli olarak yenilenir olması (Arden, 2014).

### 3. TÜRKİYE’DE REZERV RAPORLAMA STANDARTLARI

Türkiye’de kaynak ve rezerv değerlendirmeleri geleneksel olarak Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü ve Etibank gibi devlet kuruluşları tarafından gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak 4 Haziran 1985 yılında kabul edilen 3213 sayılı Maden Kanununa, 5177 sayılı Kanunla 5 Haziran 2004’te, 5995 sayılı Kanun ile 24 Haziran 2010’da, 6592 sayılı



Şekil 2. Arama sonuçları, kaynak ve rezerv arasındaki ilişkiyi gösteren şema (Yıldırım, S).

Kanunla 18 Şubat 2015’de, 6745 sayılı Kanun ile 7 Eylül 2016’da önemli ek ve değişiklikler getirilmiş ve Uygulama Yönetmelikleri güncellenmiştir.

Bu düzenlemeler, uluslararası rapor etme standartlarını kısmen içermekle birlikte, geçmiş mevzuattan kalan eksik ve yanlış bazı maddeleri de hala taşımaktadır. 2017 yılı itibariyle Maden Kanunu’nda yeni bir düzenleme yapılması planlanmakta ve MİGEM tarafından özellikle madencilik ile ilgili arama, rezerv ve faaliyet raporlarına yetkinlik ve standart getirme yönünde çalışmalar yürütülmektedir.

2015 yılında yapılan son değişiklikler ile Maden Kanunu’nda aşağıdaki tanımlamalara yer verilmiştir.

**Kaynak:** Yerkabuğunda veya derinliklerinde; biçim, nitelik ve nicelik olarak muhtemel ekonomik beklentileri karşılayacak katı, sıvı ve gaz birikimleri.

**Rezerv:** Kaynağın, boyutları ve tenörü/kalitesi belirlenmiş ve günün şartlarında ekonomik olarak üretilebilir ve işlenebilir kısmı.

**Görünür Rezerv:** Kaynağın üç boyutu ile belirlenmiş olan ve bu boyutlar içerisinde sürekliliği konusunda en az risk taşıyan, jeolojik, madencilik, metalürjik, ekonomik, pazarlama, hukuki, çevresel, sosyal, mali etkenlerin altında ve günün şartlarında işletilebilir kısmı.

**Muhtemel Rezerv:** Sürekliliği görünür rezervde olduğu kadar tarif edilemeyen, ekonomik işletilebilirliği jeolojik, madencilik, metalürjik, ekonomik, pazarlama, hukuki, çevresel, sosyal ve mali etkenler ile ilgili belirsizlikler içeren cevher miktarı.

Maden Kanunu’nda yazılı olmasına rağmen açıklanmamış tanımlar ise “mümkün rezerv” ve “görünür maden kaynağı”dır.

Uluslararası standartlarda maden arama ve raporlama kurallarına uyum çalışmaları sürecinde, 7 Eylül 2016 tarihinde yürürlüğe giren 6745 sayılı Kanundaki Ek Madde 13 ile MİGEM koordinasyonunda ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü bünyesinde Türkiye Yerbilimleri Veri ve Karot Bilgi Bankası kurulması, Ek Madde 14 ile kısa adı UMREK olan Ulusal Maden Kaynak ve

Rezerv Raporlama Komisyonu kurulmuş olup, bu komisyon ile uluslararası standartta raporlama sistemine geçişin altyapısı oluşturulmak amaçlanmıştır.

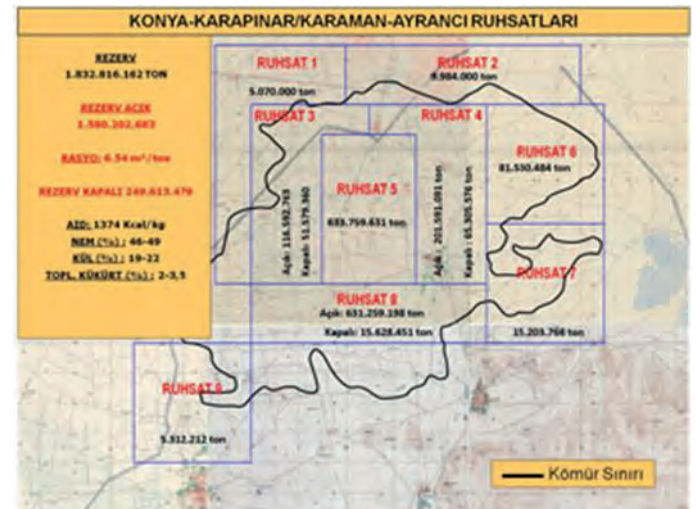
#### 4. KONYA-KARAPINAR/KARAMAN-AYRANCI KÖMÜR HAVZASINDA CRIRSCO STANDARTLARINA GÖRE KAYNAK VE REZERV RAPORU HAZIRLANMASI

KONYA-Karapınar / KARAMAN-Ayrancı kömür sahası, Karapınar ilçesinin yaklaşık 25 km güneyindedir. Bu havzadaki 9 adet arama ruhsatı EÜAŞ’a aittir.

MTA’nın yaptığı 408 adet ve 106.000 metre sondaj verisi ile hesaplanan kömür özellikleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. MTA’nın sunduğu raporlara göre kömüre ait özelliklerin ortalama değerleri

Kömürün Özelliği	Birim	Değer
Alt Isıl Değer	kcal/kg	1374
Nem	%	47,78
Kül	%	20,88
Kükürt	%	1,5
Kaynak	milyon ton	1,832



Şekil 3. Karapınar-Ayrancı Linyit Sahası ruhsat alanlarını gösteren harita.

Bu veriler kullanılarak yapılan değerlendirmede; sondaj sayısının yetersiz olduğu, işletme projesine yönelik olarak,

detay jeolojik etüt, Jeoteknik ve hidrojeolojik etüt yapılması gerektiği belirlenmiştir.

Ayrıca yatırımcı şirketler ile yapılan görüşmelerde;

1) Sondajların yapılması, denetimi ve raporlanmasında Yetkin Kişi katılımının sağlanması,

2) Kömür damarı korelasyonunun yapılabilmesi için damar terminolojisindeki eksikliklerin giderilmesi,

3) Damar sürekliliği ve yanal litolojik değişimin tespiti için ilave sıklaştırma ve karşılaştırma sondajlarının açılması,

4) Sondaj kuyularında jeofizik ölçüm yapılması,

5) Sondaj uygulamaları esnasında yeterli veri toplanması,

6) Örneklemeye protokollerinin bulunması,

7) Numune alma, test ve analiz protokollerinin bulunması,

8) Santral tasarımına esas kömür kalitesi parametrelerinin üretilmesi,

9) Bölgesel jeolojinin (sedimentoloji, tektonik, kömür kalitesi vb.) detaylı belirlenmesi,

10) Veri doğrulama prosedürlerinin tamamlanması,

11) Yeraltı ve açık ocak için işletme parametrelerine esas verilerin üretilmesi,

12) Çevresel etki değerlendirilmesi yapılması gerektiği belirtilmiştir.

#### 4.1 Protokollerin Hazırlanması

Bu havzadaki rezervler için Uluslararası standartlarda kaynak ve rezerv raporu hazırlanması amacıyla protokoller hazırlanmıştır.

Bu protokollerdeki temel kriterler:

a) Yürürlükteki mevzuata uyumlu olarak faaliyet gösterilmesi,

b) Projenin çevreye ve yerel halka potansiyel olumsuz etkilerinin önlenmesi ya da azaltılması,

c) Aynı araziye çeşitli amaçlarla kullanan diğer kimselerle anlaşmazlığa / çatışmaya düşmeden çalışılması

d) Yapılacak sondajlarda elde edilecek verilerin, uluslararası bankacılık, finans ve yatırımcı kuruluşlar tarafından itibar edilebilir nitelikte olmalarının sağlanması

e) JORC, NI-43-101 vb. kodlama sistemi ile uyumlu olarak türetilmiş ve rapor edilmiş arama sonuçlarının elde edilmesi,

f) Kaynak ve rezerv tahminleri için yatırımcıların güvenebileceği doğru, şeffaf ve denetlenebilir veri tabanı oluşturulmasıdır.

Hazırlanan protokoller aşağıda verilmiştir.

1) Sondaj İşlemleri Uygulama Kuralları (Sondaj Protokolü)

2) Karotların Muhafazası ve Nakliyesi İle İlgili Protokol

3) Jeofizik Loglama Protokolü

4) Jeolojik Loglama Protokolü

5) Jeoteknik Loglama Protokolü

6) Özgül Ağırlık Testi İçin Protokol

7) Karot Örneklemeye Protokolü

8) Numune Hazırlama, Analiz ve Numune Güvenliği Protokolü

#### 4.2 Saha Çalışmaları

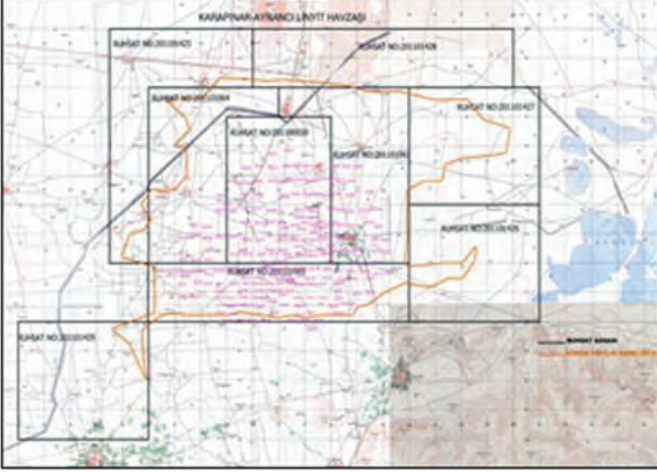
MTA ile yukarıda verilen protokoller kapsamında yapılan sözleşme ile 250 adet, 75.000 metre rezerv sondajı yapılmasına başlanmıştır.

Ayrıca, JORC kodunun bir gereği olarak, projenin kalite yönetimi ve kalite kontrol süreçleri, sondaj programının kontrol-denetimi, örneklemeye, test ve analiz süreçlerinin Yetkin Kişi denetiminde yürütülmesi ile kaynak ve rezerv raporu hazırlanması için bünyesinde QP/CP bulunan bir Danışman ile sözleşme yapılmıştır. Sahada, büroda ve laboratuvarında yürütülen bütün işlemler, hazırlanan protokollere göre ve Danışman Firma'nın kontrol ve denetimi altında yürütülmektedir.

2016 yılında 215 adet, yaklaşık 61.000 m rezerv sondajı tamamlanmıştır. Ayrıca rezerv sondaj kuyularında jeofizik loglama (SP Rezistivite, Doğal Gamma Ray - Neutron ve Density yöntemleri) çalışmaları planlanmıştır.

Hidrojeoloji çalışmaları kapsamında ise 38 adet hidrojeoloji sondajı yapılmış ve 6605 metre toplam ilerleme sağlanmıştır. 12'si bağımsız, 26'sı grup olarak planlanan gözlem kuyularında 10 adet pompa testi ve 3 adet boya deneyi yapılmıştır. Gözlem kuyularından sürekli ölçümler alınmış, ayrıca 2 adet meteorolojik gözlem istasyonu

kurulmuştur. Hidrojeoloji sondajlarına ilaveten Danışman firmanın önerisi ile 13 adet ilave hidrojeoloji sondajı yapılması kararlaştırılmıştır. Zemin mekaniği parametrelerinin belirlenmesi amacıyla da 27 adet jeoteknik sondajın yapılması planlanmış ve çalışmalara başlanmıştır.



Şekil 4. Ruhsat alanlarını ve sondaj lokasyonlarını gösteren harita.



Şekil 5. Rezerv sondajı çalışmalarından bir görünüm.

Kırıntılı ve karotlu yapılan bu sondajlardan elde edilen kömür numuneleri karot sandığıyla fotoğraflanmış ve 10 cm hassasiyetle loglanmıştır. Protokoller çerçevesinde yarılma yöntemi ile örneklenen kömür numunelerinin yarısı analiz için laboratuvara gönderilirken diğer yarısı streçlenmiş halde karot sandıklarına yerleştirilmiştir.



Şekil 6. Örneklemeye çalışmalarından bir görünüm.

Protokol şartlarına göre düzenlenen ve raflara yerleştirilen karot sandıkları, belirli bir sistematik içerisinde EÜAŞ tarafından oluşturulan “Karot Bankası”nda saklanmaktadır.

### 4.3 Analiz Çalışmaları

Karotlardan alınan örnekler, ilgili protokolda belirtilen şartlarda laboratuvara gönderilerek 2016 yılı içerisinde 13.530 adet kömür numunesi alınmıştır. 197 sondaja ait 12.658 kömür numunesinde tam analiz prosedürleri uygulanmış ve yoğunluk, nem, kül, sabit karbon, külde kükürt, toplam kükürt, kalori değeri testleri yapılmıştır. 2017 yılında devam eden sondaj çalışmalarına paralel örneklemeye ve analiz işlemleri sürmektedir.

Termik santral dizaynına esas parametrelerin belirlenmesi amacıyla da belirlenen 18 lokasyondaki sondajlardan alınan 892 adet kömür numunesi üzerinde ileri analizler gerçekleştirilmiştir. Bunlar; xylit, pirit, civa, klor-flor, karbon, azot, oksijen, asitte çözünür alkaliler(külde), vitrinit yansıma, kül füzyon, serbest kabarma indeksi, hardgrove indeksi, kül karakteristiği ve petrografik analizlerdir.

Test ve analizlerin kontrolü için her 50 örnekte bir, ikiz numuneler alınarak bağımsız ve akredite olmuş başka laboratuvarlarda yeniden test ve analizler yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

Sondajlardan alınacak örnek sayısı yaklaşık 15.000 adet seviyesindedir.



Şekil 7. Karot Bankası'ndan bir görünüm.

## 5. SONUÇLAR

1) Ülkemiz maden kaynaklarının, güvenilir şekilde raporlanarak yatırımcılara sunulması, madencilik sektörüne yatırım yapılabilmesinin eşiğini oluşturmaktadır.

2) EÜAŞ, kamu sektöründe bu sürecin öncülüğünü yapmış, konunun Bakanlık stratejik planlarında ve 10.Kalkınma Planında yer almasını sağlamış ve KONYA da ilk uygulamayı gerçekleştirerek, çok önemli bir deneyimi birlikte çalıştığı kurumlarla paylaşmıştır.

3) Bu sürecin bir devamı olarak MİGEM koordinasyonunda ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü bünyesinde Türkiye Yerbilimleri Veri ve Karot Bilgi Bankası ve kısa adı UMREK olan Ulusal Maden Kaynak ve Rezerv Raporlama Komisyonu kurulmasına karar verilmiştir.

4) EÜAŞ tarafından başlatılan yeni Maden arama ve raporlama süreci; uluslararası bankacılık, finans ve yatırımcı kuruluşlar tarafından itibar edilebilir nitelikte, CRIRSCO standartlarında, güvenilir, doğru, şeffaf, denetlenebilir arama sonuçları veri tabanı elde edilmesi ve ulaşılan sonuçların aslına uygun rapor edildiğinin bağımsız bir uzman (QP/CP) tarafından doğrulandığı bir rezerv raporu hazırlanması için oluşturulan metodolojinin ülkemize özgü yeni parametrelerle daha da geliştirilebilecek, yeni kurulan UMREK ile güçlü ve güvenilir bir organizasyon kurulabilecektir.

5) Uluslararası kaynak ve rezerv raporlama sistemi, yüksek yatırım gerektiren Termik Santrallerin, yatırım ve işletme dönemindeki sorunları asgariye indiren ve riskleri azaltan özelliği nedeniyle EÜAŞ'ın öncülüğünü yaptığı "Termik Linyit" madenciliğinin temelini oluşturmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

TAKA, M., KARACA, K., SALMAN M., GÜLHAN M. M., Nisan 2010, Konya-Karapınar AR-20054450 Ruhsat No'lu Linyit Sahasının Buluculuk Talebine Esas Jeoloji ve Rezerv Raporu, MTA, Ankara

TAKA, M., SALMAN M., ÇOLAKOĞLU, S., GÜLHAN M. M., 2010, AR 20060118 No lu Konya İli Karapınar İlçesi Linyit Ruhsat Sahasının Buluculuk Talebine Esas Jeoloji ve Rezerv Raporu, MTA, Ankara

TAKA, M., SALMAN M., ÇOLAKOĞLU, S., GÜLHAN M. M., 2010, AR 20060119 No lu Konya İli Karapınar İlçesi Linyit Ruhsat Sahasının Buluculuk Talebine Esas Jeoloji ve Rezerv Raporu, MTA, Ankara

TAKA, M., SALMAN M., ÇOLAKOĞLU, S., GÜLHAN M. M., 2010, AR 20060120 No lu Konya İli Karapınar İlçesi Linyit Ruhsat Sahasının Buluculuk Talebine Esas Jeoloji ve Rezerv Raporu, MTA, Ankara

TAKA, M., SALMAN M., ÇOLAKOĞLU, S., GÜLHAN M. M., 2010, AR 200610008 No lu Konya İli Karapınar İlçesi Linyit Ruhsat Sahasının Buluculuk Talebine Esas Jeoloji ve Rezerv Raporu, MTA, Ankara

TAKA, M., SALMAN M., ÇOLAKOĞLU, S., GÜLHAN M. M., 2011, Konya-Karapınar AR-200610009 Ruhsat No' lu Linyit Sahasının Buluculuk Talebine Esas Jeoloji ve Rezerv Raporu, MTA, Ankara

TAKA, M., SALMAN M., ÇOLAKOĞLU, S., GÜLHAN M. M., 2011, Konya-Karapınar AR-200610007 Ruhsat No' lu Linyit Sahasının Buluculuk Talebine Esas Jeoloji ve Rezerv Raporu, MTA, Ankara

TAKA, M., SALMAN M., ÇOLAKOĞLU, S., GÜLHAN M. M., 2011, Konya-Karapınar AR-200610010 Ruhsat No' lu Linyit Sahasının Buluculuk Talebine Esas Jeoloji ve Rezerv Raporu, MTA, Ankara

TAKA, M., SALMAN M., ÇOLAKOĞLU, S., GÜLHAN M. M., 2011, Konya-Karapınar AR-

200610368 Ruhsat No' lu Linyit Sahasının Buluculuk Talebine Esas Jeoloji ve Rezerv Raporu, MTA, Ankara

YILDIRIM, S., Maden Aramacılığında Uluslararası Standartlar ve Ülkemiz Maden Mevzuatına Yansımaları, JMO, [www.jmo.org.tr/resimler/ekler/a5a12765e8c551d\\_ek.pdf](http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/a5a12765e8c551d_ek.pdf)

SAATÇI, M., 2014, Maden Arama ve Raporlarında Uluslararası Standartlar,

ARDEN, H., Şubat 2014, Assessment of Konya-Karapınar Lignite Coal Field for Power Generation, Ankara

ARDEN, H., Aralık 2014, JORC Kodu ve Türkiye'deki Kaynak ve Rezerv Sınıflandırmasına Etkileri, Madencilik Türkiye Dergisi.

1. YTK Personel Eğitimleri Kitapçığı, 2016, Ankara

CRIRSCO Resmi Web Sitesi, [www.criresco.com](http://www.criresco.com)

JORC Resmi Web Sitesi, [www.jorc.org](http://www.jorc.org)



# Afşin-Elbistan Kömür Havzası (E) Sektöründeki Hidrojeolojik Çalışmalar

## *Hydrogeological Studies In Afşin-Elbistan Coal Basin (E) Sector*

S. Canbaz, C. Taştekin, E. Ata, M. Eren, A. Şahinarslan, H. Demir, Ü. Yüksek, A. Gür, M. Çiçek

*EÜAŞ Maden Sahaları Daire Başkanlığı, Ankara*

**ÖZET** Bu çalışma, Açık Ocak İşletme yöntemiyle kömür üretilmesi planlanan Afşin-Elbistan Kömür Havzası (E) Sektöründeki Hidrojeolojik çalışmaları kapsamaktadır.

Havzanın işletmeye açılması için oluşturulacak maden dizaynlarında güvenli ve sürdürülebilir madencilik için şev ve basamakların emniyeti önemlidir. Bu emniyeti sağlamak için havzadaki jeolojik yapıyı, yüzey ve yeraltı sularından kaynaklı beslenimi ve havzadaki genel hidrojeolojik durumu tespit etmek gereklidir.

(E) Sektöründe planlanan hidrojeolojik çalışmalarda havzada yer alan akifer katmanlarının hidrojeolojik parametrelerinin (transmissivite (T), hidrolik iletkenlik (K), depolama katsayıları (S)) belirlenmesi ve katmanlar arası hidrolik ilişkinin ortaya konulabilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda uluslararası normlara ve yeni teknolojik yaklaşımlara uygun olarak sahanın hidrojeolojik modelini ortaya koymak için havzada kapsamlı pompa testleri ve çoklu testler yapılmıştır.

Havzada yapılan Pompa testi çalışmaları ve çoklu testler sonucunda elde edilen verilerle sahanın hidrojeolojik modeli kurulması ve oluşturulacak hidrojeolojik model ile E sektörünün su yönetimi politikası belirlenmesi amaçlanmıştır.

**ABSTRACT** This study covers hydrogeological studies in Afşin-Elbistan Coal Basin Sector E which is planned to produce coal by open pit operation method.

For the basin to be opened to construct mine designs to be formed safely and for sustainable mining slope and steps safety is important. To provide this safety in basin's geological structure, supply from surface and ground water and it's necessary to identify basin's general hydrogeological situation.

It is aimed to determine the hydrogeological parameters (transmissivity (T), hydraulic conductivity (K), storage coefficients (S)) of the aquifer layers in the basin and to reveal the hydraulic relationship between the layers in the hydrogeological studies planned in Sector E. In this coverage, comprehensive pump tests and multiple tests applied at the basin to reveal the hydrogeological model of the field in accordance with international norms and new technological approaches.

Pumping tests and multi tests will use to establish the hydrogeological model of the field and to determine the water management policy of the sector E with the hydrogeological model to be constructed.

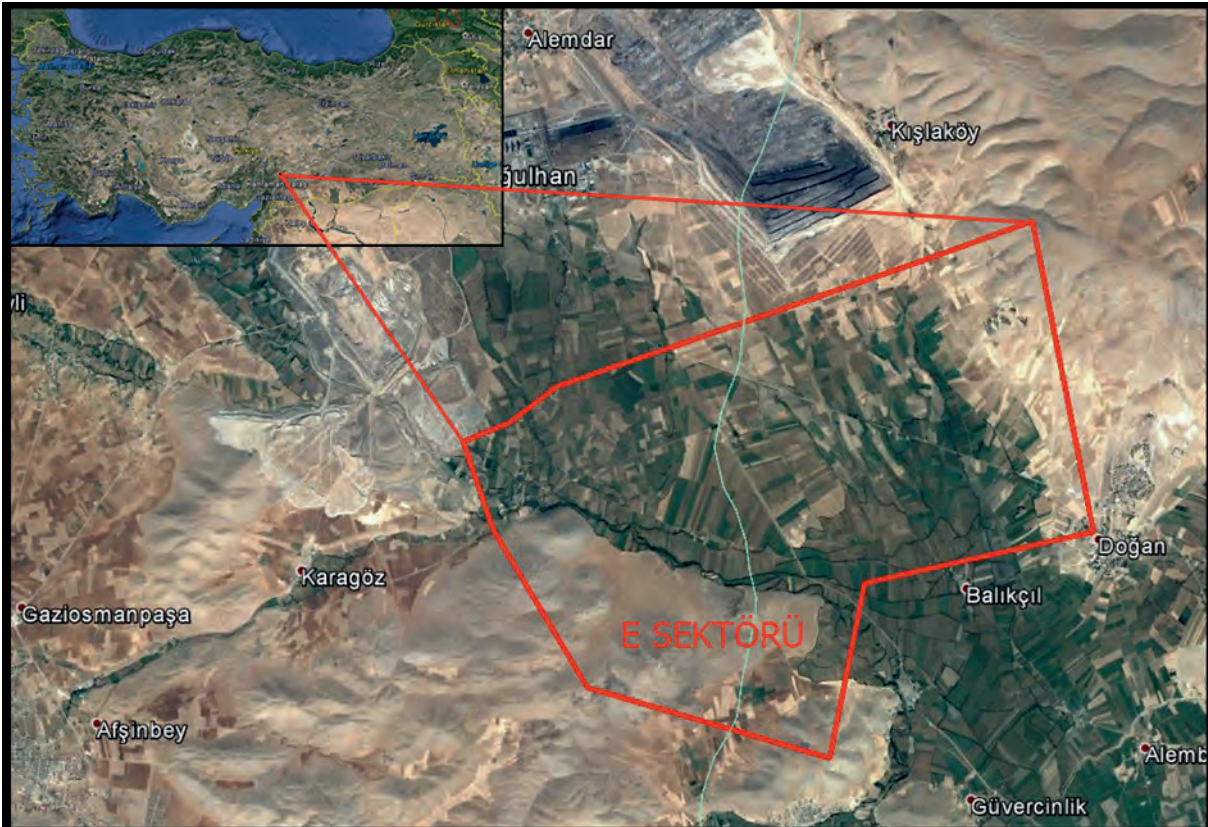
## 1.GİRİŞ

Türkiye Linyit Rezervinin % 33'ünü oluşturan ve toplam 4,8 Milyar ton görünür rezervi ile yaklaşık 300 km<sup>2</sup> alanı kapsayan Afşin Elbistan Kömür Havzası, Kahramanmaraş İlinin Afşin-Elbistan ilçeleri arasında yer almakta olup, Kışlaköy (A), Çöllolar (B), C, D ve E Sektörleri olmak üzere 5 sektöre ayrılmıştır. Havzada E sektörü 60 km<sup>2</sup> lik bir alanı kapsamaktadır.

EÜAŞ Genel Müdürlüğü, Afşin-Elbistan kömür havzasının doğusunu sınırlayan Kızıldağ'ın Doğanköy'e dönük eteklerinde 1500 MW gücünde bir santral kurulmasını ve bu santralin, havzanın güneydoğusunda yer alan E Sektöründeki kömür rezervi ile beslenmesini hedeflemiş bulunmaktadır. Yıllık faaliyet süresi, kömürün ortalama kalorisi, yakma verimi ve 35 yıllık bir santral ömrü göz önüne alınarak santralin kömür talebi 20 milyon ton/yıl olarak tespit edilmiştir. Açık işletme faaliyetlerine özgü üretim kayıpları da göz önüne alındığında

söz konusu sonuçlara ulaşabilmek için 780 milyon ton kömür kaynağına ihtiyaç olduğu hususuna karar verilmiştir.

EÜAŞ Genel Müdürlüğü, ülkemizin geleceğe dönük enerji talebini göz önüne alarak (E) sahasının işletmeye açılması için yapılacak çalışmalar da (hidrojeolojik ve jeoteknik değerlendirme, susuzlaştırma planı ve optimum şev tasarımı) Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerinden danışmanlık hizmeti almıştır. Bu danışmanlık hizmeti kapsamında Afşin Elbistan Kömür Havzası ile (E) sahası için MTA tarafından yapılmış olan hidrojeolojik etüd raporları incelenerek, değerlendirilmiş olup, havzadaki diğer sahalarda (Kışlaköy, Çöllolar Sahalarında) yürütülen susuzlaştırma faaliyetlerini de dikkate alarak pompa testi çalışmaları için E Sektöründe kuyu lokasyonları belirlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

## 2. JEOLAJİ

### 2.1 Genel Jeoloji

Afşin-Elbistan havzası, Alp orojenezi sonunda Torosların yükselimi esnasında dağlar arasında oluşmuş tektonik bir çöküntü havzasıdır. Bölgede, Bodrum Napı ve Köseyahya Napı'nı oluşturan allokton birliklerinin üzerinde, açısız uyumsuz olarak Ahmetcik formasyonu otokton olarak yer almaktadır (Bedi ve diğ. 2009).

Çalışma alanının çevresinde Bodrum Napı'na ait Üst Permiyen yaşlı Çayderesi formasyonu ve Üst Kretase yaşlı Karaböğürtlen formasyonu ile Orta Triyas-Orta Kretase yaşlı ayırtılmamış Köseyahya Napı ve bu napa ait Üst Kretase yaşlı Kemaliye formasyonu yer almaktadır. Temel birimler üzerine Neojen yaşlı Ahmetcik formasyonu gelmektedir. (MTA, 2015)

#### 2.1.1 Bodrum napı

##### 2.1.1.1 Çayderesi formasyonu

Çayderesi formasyonu dolomitik kireçtaşı, rekristalize kireçtaşı ve şist ardalanmasından oluşmaktadır. Bu birim Karaböğürtlen Formasyonun üzerine bindirmeyle gelirken Ahmetcik formasyonu bu birimi açısız uyumsuz olarak örtmektedir. Birimin yaşı Üst Permiyen olarak tespit edilmiştir (Bedi ve diğ. 2009).

##### 2.1.1.2 Karaböğürtlen Formasyonu

Karaböğürtlen formasyonu şist, kalkşist ve metakonglomera ardalanmasından oluşmaktadır. Birime rekristalize kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşları eşlik etmektedir. Birimin yaşı Üst Kretasedir (Bedi ve diğ. 2009).

#### 2.1.2 Köseyahya napı

Tektonizmanın etkisiyle aşırı kırıklı ve karstik bir yapıya sahip, rekristalize kireçtaşı, dolomit, çörtlü mermer ara seviyeli metakonglomera, şist, bazik şist, çörtlü kalk

şist ardalanmasından oluşan birim Orta Triyas-Orta Kretase yaşlıdır (Bedi ve diğ. 2009).

##### 2.1.2.1 Kemaliye Formasyonu

Kemaliye Formasyonu fazla pekişmemiş kumtaşı, silttaşı kiltası ve çakıltaşlarından oluşur. Birimin yaşı Üst Kretasedir (Bedi ve diğ. 2009).

#### 2.1.3 Ahmetcik formasyonu

Ahmetcik formasyonu Yusufoglu ve diğ. (2005) tarafından alt birim ve üst birim şeklinde ikiye ayrılarak incelenmiştir.

Alt birimler: Taban kili, linyit horizonu, gri gidya, bej gidya ve görsel kireçtaşlarından oluşur.

Üst birimler: Kil, kum ve çakıllardan oluşan akarsu çökellerini temsil eden Lehim biriminden oluşmaktadır. Birimin yaşı Pliyosen-Kuvaternerdir.

##### Alt birimler:

• *Taban kili:* Yeşilimsi mavi renkli, (turkuvaz renkli) karbonat yumrulu kil seviyelerinden oluşan birim linyit horizonunun tabanında yer almaktadır.

• *Linyit Horizonu:* Pliyosen-Pleyistosen yaşlı birim Taban Kili üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Birim siyah - açık kahverenkli, orta sertlikte ve orta - ince tabakalı olup, bol bitümlü siyah renkli, yüksek-orta plastisiteli kil seviyeleri içermektedir.

• *Gri Gidya :* Pliyosen-Pleyistosen yaşlı gri gidya birimi Linyit seviyeleri üzerinde uyumlu olarak gelmektedir. *Birim* kahvems gri - koyu gri renkli, bol Gastropot fosili içeren killi seviyelerden oluşmaktadır.

• *Bej Gidya :* Pliyosen-Pleyistosen yaşlı bej gidya birimi gri gidya biriminin üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Birim açık kahve-bej renkli, bol Gastropot içerikli, killi siltlerden oluşmaktadır.

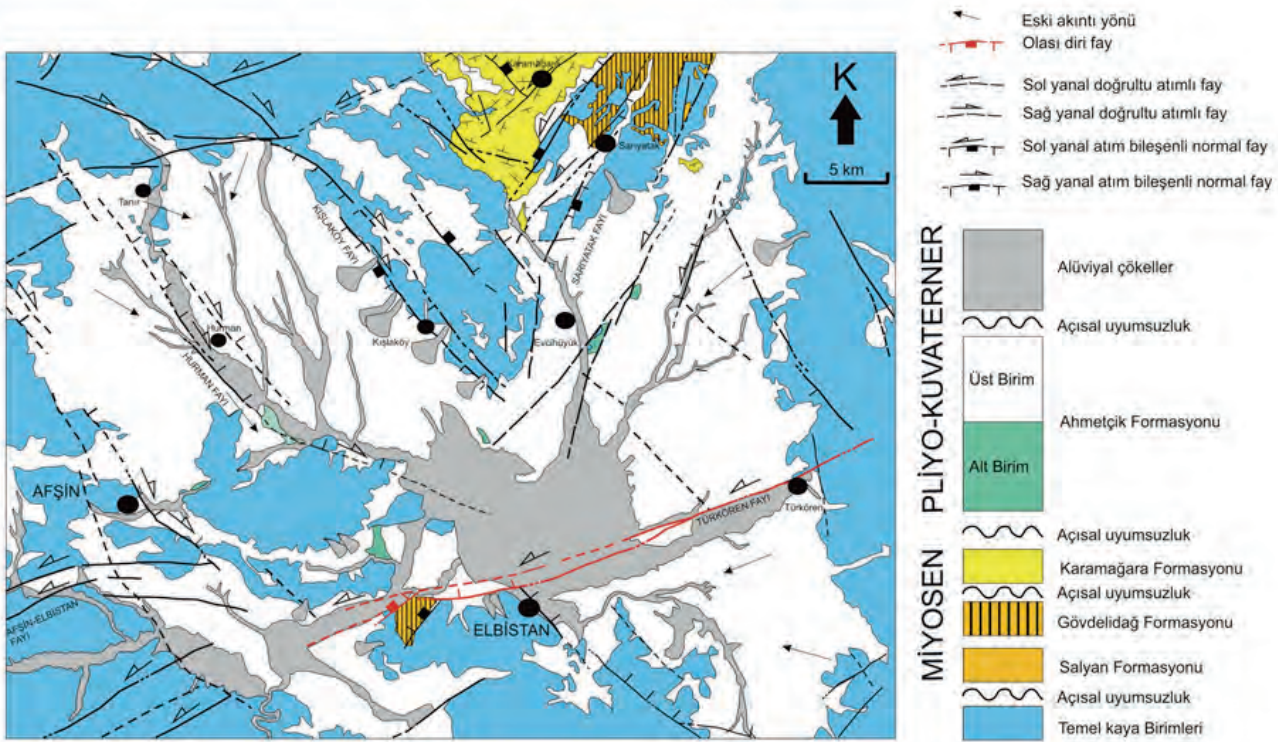
• *Gösel Kireçtaşı* : Birim açık gri-gri renkli, bol fosilli (Gastropot fosili içermesi bakımından karakteristiktir) sert-çok sert, kırılma yüzeyleri keskin köşeli, orta-kalın tabakalıdır.

### Üst birimler:

• *Mavi-Yeşil kil* : Akarsu çökelleri olarak gıda ve gösel kireçtaşı üzerine uyumlu olarak gelen birim açık mavi - yeşil renkli

killerden oluşur. Birim içinde yer yer çakıllar ve kum silt mercekleri yer almaktadır.

• *Lehim* : Birimin üst seviyelerinde az pekişmiş çakıl ve kum bantları, alta doğru kırmızımsı kahve renkli, kil ve az çakıllı kumlu killer yer almakta olup, yer yer kalış özelliği gösteren karbonat yumruları içermektedir.



Şekil 2. Afşin-Elbistan Havzası neojen yaşlı kaya-stratigrafi birimlerinin jeoloji haritası (Yusufoğlu ve diğ. 2005).

## 3. HİDROJEOLOJİ

### 3.1 Hidrojeolojik Çalışmalar

Afşin-Elbistan Kömür Havzası (E) Sektöründe planlanan hidrojeolojik çalışmalarda havzada yer alan akifer katmanlarının hidrojeolojik parametrelerinin (transmissivite (T), hidrolik iletkenlik (K), depolama katsayıları (S)) belirlenmesi ve katmanlar arası hidrolik ilişkinin ortaya konulabilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla havzanın hidrojeolojik modelini ortaya koymak için havzada kapsamlı pompa

testleri ve çoklu testlerin yapılmasına karar verilmiştir. Planlanan pompa testleri için MTA tarafından yapılan karotlu sondajlar baz alınarak oluşturulan kesitler üzerinde 3 boyutlu kavramsal hidrojeolojik model oluşturabilecek şekilde pompaj ve gözlem kuyuları planlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda E Sektöründe belirlenen koordinatlarda sondajlar yapılmıştır. Çalışma sahasında toplam 12 adet pompaj kuyusu, 19 adet uzun süreli gözlem kuyusu, 36 adet pompaj kuyu çevresi gözlem kuyuları, 4 adet Kışlaköy ve E sektörü gözlem kuyuları olmak üzere toplam 71 adet kuyu açılmıştır.

Açılan kuyularla havzadaki litolojik birimler belirlenmiştir. 12 adet pompaj grubunda kademeli ve sabit debili pompa testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca uzun süreli yer altı su seviyesi gözlemleri yapılmıştır.

### 3.1.1 Kuyu dizaynları

Pompaj test grubu kuyuları ve uzun dönem gözlem kuyularının lokasyonları Cumhuriyet Üniversitesi tarafından sahaya dönük çalışmalarındaki jeolojik kesitler üzerinden belirlenmiştir.

Jeolojik kesitler üzerinden belirlenen lokasyonlarda litolojik birimleri ve kalınlıklarını tespit etmek amacıyla karotlu teyit sondajları yapılmıştır. Karotlu sondaj yöntemiyle birimlerin litolojileri ve kalınlıkları tespit edildikten sonra açılan kuyular kuyu tarama yöntemiyle taranarak pompaj test katmanını gözlem kuyusu oluşturulmuştur.

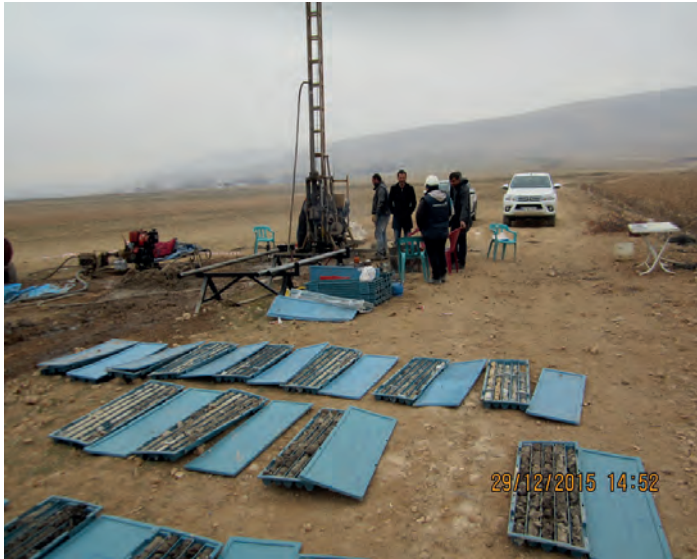


Foto. 1. CPT-3 nolu kuyuda karotlu sondaj çalışmaları

Pompaj kuyusu; Pompaj test katmanını gözlem kuyusu ile pompaj kuyusu arasındaki mesafe

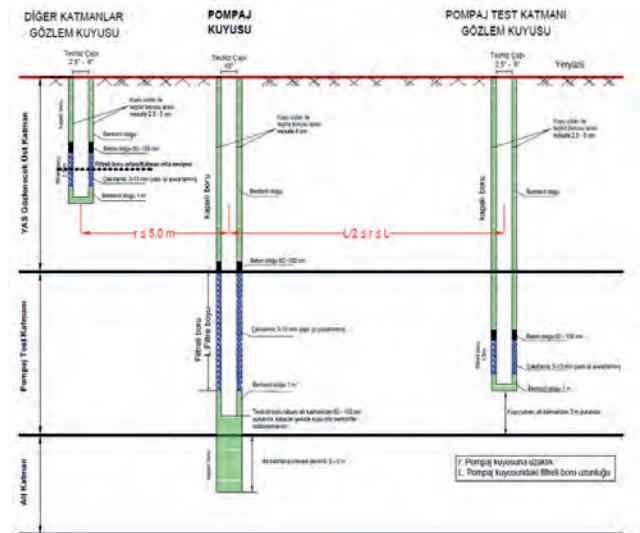
$$L/2 \leq r \leq L$$

(r: pompaj kuyusuna uzaklık, L: pompaj kuyusundaki filtreli boru uzunluğu) olacak şekilde belirlenmiştir. Pompaj kuyuları pompa testi yapılacak akiferin taban sınırına yaklaştığında kuyu sonlandırılmış, test edilecek akifer içerisinde kalan kuyu filtreli olarak teçhizlenmiş ve kuyunun üst kısmı diğer akiferlerden su girişini

engellemek amacıyla tecritlenmiştir. Pompaj kuyusunun diğer akifer katmanlarındaki gözlem kuyularına uzaklığı  $r \leq 5$  m olarak belirlenmiştir.

Gözlem kuyuları; Pompaj test katmanını gözlem kuyusu ve diğer akifer katmanlarındaki gözlem kuyuları buldukları akifer tabanına kadar açılmış ve her bir akifere ait gözlem kuyusu 1,5-4 m filtreli olacak şekilde teçhizlenmiş ve kuyunun üst kısmı diğer akiferlerden su girişini engellemek amacıyla tecritlenmiştir.

Uzun dönem gözlem kuyuları; lehim, gıdya, kömür, taban kili birimlerinde buldukları akifer tabanına kadar açılmıştır ve kuyunun üst kısmı diğer birimlerden su girişini engellemek amacıyla tecritlenmiştir ve bu kuyular uzun süreli gözlem amacıyla planlanmıştır.



Şekil 3. Pompa test grubu kuyu düzeni kesit görünüşü (Cumhuriyet Üniversitesi, 2015).

### 3.1.2 Pompa testleri

#### 3.1.2.1 Test öncesi çalışmalar

E Sektörü akifer katmanlarının hidrojeolojik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla açılan kuyuların teste hazır olması için kuyu geliştirme (yıkama) sürecinden sonra, test ve gözlem kuyularındaki su seviyelerinin geliştirme öncesi seviyeye dönmesi gerekmektedir. Bunun için sondaj ve kuyu geliştirme süreci tamamlanan pompaj ve gözlem kuyularından her gün yeraltı su seviyesi ölçümü alınmıştır. Pompaj

kuyularından ayrıca EC (Elektriksel İletkenlik) ve sıcaklık ölçümü alınmıştır.

Pompaj ve gözlem kuyularındaki su seviyesi kuyu geliştirme öncesindeki seviyeye geldiğinde test çalışmalarına başlanması uygun görülmüştür.



Şekil 4. Pompa test grubu ve uzun dönem gözlem kuyularının kuyu düzeni (Cumhuriyet Üniversitesi, 2015).

Kademeli test ve sabit debili test düşük debide başlanacağı için SP 3A-22 (saatte 3 m<sup>3</sup> debi ile 60 m yüksekliğe basabilen) tipli pompalar 0,1 l/s debi verecek şekilde vana ile ayarlanmıştır.

**Otomasyon Sisteminin Kurulması:** Pompaj kuyularında yeraltı su seviyesini, suyun sıcaklığını ve debisini dijital olarak görebilmek için otomasyon sistemi kurulmuştur.

**Diverların Kuyuya İndirilmesi:** Diver; Yeraltı su seviyesi ve yeraltı suyu sıcaklıkları otomatik ölçüm cihazıdır. Pompaj ve gözlem kuyularına diver inilmiştir. Diverlar da yeraltı su seviyesi, suyun sıcaklığı, debisi ve EC (Elektriksel İletkenlik) değerlerini gözlemler için inilmiştir.

### 3.1.2.2 Pompa testleri

Pompa Testleri; Kademeli debi testi, sabit debi testi ve yükselim olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır.

**Kademeli Debi Testi:** Kademeli test başlamadan önce 0, 6, 12, 24, 36, 48. saatlerde pompaj kuyularından diverlarla,

gözlem kuyularından dipmetreyle manuel ölçüm alınmıştır. Kademeli debi testinde amaç debi-düşüm ilişkisini ortaya koymak ve sabit debili teste kullanılacak olan maksimum debiyi belirlemektir.

Test beş kademedен oluşmaktadır. Her bir kademe yaklaşık 1 saat sürmektedir. Kademeli debi testinde ilk kademe 0.36m<sup>3</sup>/h debi ile başlatılmıştır. Deney süresince su seviyesinin hızlı düşümünü engellemek ve deney sonunda su seviyesini pompanın 1-2 m üzerinde kalmasını sağlamak amacıyla düşük debiler ile başlanması tercih edilmiştir. Birinci kademenin sonunda debi iki katına çıkarılmıştır (0.72 m<sup>3</sup>/h). Her kademe sırasında debi kontrolü için su sayacından 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60. dk da okuma alınmıştır. Her kademe suyun tahliye edildiği borunun ağzından 20 lt lik kovalar yardımıyla debi ölçümü yapılmıştır. Bu işlemdeki amaç otomasyon sistemindeki debi değerlerinin kontrol edilmesidir. Debi her kademe eşit miktarda arttırılmıştır

- 1.kademe= 0.36 m<sup>3</sup>/h
- 2.kademe= 0.72 m<sup>3</sup>/h
- 3.kademe= 1.08 m<sup>3</sup>/h
- 4.kademe= 1.44 m<sup>3</sup>/h
- 5.kademe= 1.80 m<sup>3</sup>/h

Kademeli test tamamlandıktan sonra sabit debili teste geçmek için kuyudaki su seviyesinin test başlangıcındaki seviyesine dönmesi için 1-2 gün beklenmiştir.

**Sabit Debili Test:** 24 saatlik sabit debili teste kullanılacak maksimum debi kademeli test sonucunda belirlenmiştir.



Foto. 2. CPT-4 nolu grubun pompaj kuyusunda pompa testi için kurulan sistem.

Sabit debili test için kuyunun maksimum debisi ayarlandıktan sonra belirli aralıklarla su sayacından okuma ve gözlem kuyularından dipmetreyle seviye ölçümü alınmıştır. 24 saatin sonunda pompa durdurulmuştur ve pompa durdurulmadan önce pompaj ve gözlem kuyularından seviye ölçümü alınmıştır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Maden işletme projelerinde havza su yönetiminin maden planlaması ile beraber yürütülmesi, güvenli ve sürdürülebilir madencilik için gereklidir. Bu nedenle Afşin-Elbistan Havzası E Sektörünün İşletmeye açılması için yapılan Hidrojeolojik çalışmalarda 12 adet pompaj grubunda pompa testleri yapılmıştır. Pompa Testi çalışmaları sonucunda elde edilen verilerle düşünme-zaman ve düşünme türevi-zaman grafikleri hazırlanmıştır. Bu grafikler akifer test programında uygun metotlar seçilerek değerlendirilmiştir. Akifer test programındaki değerlendirmeler sonucunda akiferlerin hidrojeolojik parametrelerinin (T=Transmissivite, K=Hidrolik İletkenlik, S=Depolama Katsayıları) belirlenmesi ve akifer katmanları arasındaki (beslenme, boşalım, sınır koşulları) hidrolik ilişkiyi tespit etmek amaçlanmıştır. Afşin-Elbistan Havzası E Sektöründe yapılan Hidrojeolojik çalışmalar ile E Sektörünün kavramsal hidrojeolojik modeli kurularak etkin bir susuzlaştırma programı yapılacaktır.

#### 5. KAYNAKLAR

Akbulut, İ. ve diğerleri, 2015, Kahramanmaraş Afşin-Elbistan Kömür Havzası E-Sektörü Jeoteknik Etüt Çalışması, MTA, Ankara.  
Bedi, Y ve diğerleri, 2009, Doğu Toroslar'ın Jeodinamik Evrimi (Göksün-Sarız-Elbistan)

Arası. MTA Derleme Raporu No:11150 (yayımlanmamış).  
Cumhuriyet Üniversitesi, 2015, Afşin-Elbistan Kömür Havzası (E) Sahası Hidrojeolojik ve Jeoteknik Değerlendirme, Susuzlaştırma Planı ve Optimum Şev Tasarımı Yapılmasına Dair Danışmanlık Protokolü 11. Faaliyet Raporu, Sivas.  
Yusufoğlu, H. ve diğerleri, 2005, Afşin-Elbistan Neojen havzasının tektonik evrimi, Doğu Toroslar, Türkiye 58. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.

# Türkiye Alçıtaşı ve Alçı Üretimi

## *Turkish Gypsum and Plaster Production*

S. Kulaksız

Emekli, Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği, Ankara, Türkiye,

M. Sever

MİGEM, Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

**ÖZET** Türkiye’de alçıtaşı madenciliği 1935 yıllarına kadar hemen hemen hiçbir gelişme göstermemiştir. M.T.A. ve Etibank’ın kurulması ile birlikte teknik açıdan yazılı kayıtlara raporlar halinde geçmiştir. Taş Ocakları Kanunu kapsamında olduğundan, sektör de hammadde güvencesi bulunmaması nedeniyle cazip olmamıştır. Çimento sektörüne bağlı bir üretim sektörü olarak kalmıştır. Maden Kanunu’na alınması ve inşaat sektörü ile birlikte 2002’den sonra hızlı bir yükselme göstermiştir.

Türkiye alçıtaşı yatakları genelde havza bazında çalışılmış olup, detay petrografik - kimyasal çalışmalar bulunmamaktadır. Yapılan sınırlı sayıdaki yüksek lisans çalışmaları ise, ekonomik maden işletmeciliğine yönelik değildir. Çeşitli rapor ve kaynaklardan ve yaptığım jeolojik prospeksiyon çalışmalarımın Türkiye’deki alçı taşlarının bir değerlendirilmesi bu bildiride verilmektedir. Mevcut Türkiye verileri ve buna dayanan dünya istatistikleri ise fiili gerçekleşen üretimleri yansıtmamaktadır.

Alçıtaşı üretimi ağırlıklı olarak inşaat ve çimento üretim sektörüne dayanmaktadır. Ülkemiz bir deprem bölgesi olup dolası ile hafif yapı malzemeleri kullanmalıdır. Aynı zamanda yeterli enerji kaynakları da bulunmamaktadır. Isı izolasyonu özelliğinden dolayı alçı ve alçı elemanlı malzemeler binalarda tercih edilmelidir. Bundan dolayı alçı sıva ve panel kullanımı zorunlu olmalı ve ilgili yasal düzenlemeler yönetmelikler çıkarılmalıdır. Tüketiciye ekonomik destek verilmelidir.

İnşaat sektöründe plaka alçı – panel alçı kullanımının teşvik edilmesi görüşümdedir.

Bu bildirinin amaçlarından birisi, Dünya istatistiklerinin Türkiye üretimlerini düzeltmek, gerçek rakamlarla Türkiye üretimlerini yansıtmak ve alçıtaşı üretiminde ilk 10 ülke içerisinde olduğunu göstermektir.

Metallere göre düşük değerli endüstriyel hammaddelerin üretim değerleri orta– uzun vadeli yatırımcılar için çok önemlidir.

Türkiye alçı ve alçıtaşı üretiminin bir değerlendirmesi bu bildiride verilecek ve ileriki yıllarda kullanımı ve üretimi konusunda öngörülen öneri ve yorumlar yapılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** alçı yatakları, Türkiye alçı taşı endüstrisi, alçı üretimi, istatistik veriler, kıltaşı, Pazarlama.

**ABSTRACT** Turkish gypsum mining industry didn’t show any development until 1935. After the establishment of Mineral Exploration and Exploitation Research

Institute M.T.A and Etibank Mining enterprise then gypsum exploration came into written technical reports in these enterprise libraries. At the begin of period gypsum licence was in content of Turkish stone quarry law. It had not licence guaranty so that it wasn’t attractive for private company. When this industrial mineral was taken into Turkish mining law (2002) gypsum industry started to develop and production rising by construction sector. As you know gypsum mining industry generally, depend on cement and construction industry in the world as Turkey.

To observe global trends in industrial raw material-minerals production there is a need for significant data, providing information concerning investors and markets. Low value raw



industrial materials compare to metals, precise production figures are important as well, short-long term demand and investment.

Turkey gypsum deposits have generally mined as a basin and there are no detailed petrographic and chemical studies related to these deposits. Every deposit has different mineral composition and basen character it affects the usage fields and calcination technology. The graduate studies small scale research, carried out in a limited number, are not for economical mining. In this study, evaluation of gypsum deposits in Turkey is given based on several reports, references and my geological prospection in the field various region of Turkey. The present production data for Turkey and the world based on these statistics do not reflect the actual gypsum production in Turkey. Turkey gypsum statistical data is expressed as a low according to actual situation in world statistics. To provide accurate data for the world and to express gypsum deposits and potential of Turkey are aimed in this study. On the other hand, Turkish gypsum and plaster production, usage will be discussed and what will be target in the future my comments.

**Keywords:** Gypsum deposits, Turkish gypsum industry, plaster production, market, claystone

## 1 GİRİŞ

Türkiye de alçıtaşı üretimleri 2002 sonrası hızlı bir artış göstermekle beraber hem dünya, hem Türkiye istatistik rakamları gerçeği yansıtmamaktadır. Şekil-1



Şekil-1-a: USGS Ve Index Mundi ye Göre Türkiye'nin Alçıtaşı Üretimindeki Yeri

Milyon Ton						
DÜNYADA ÜLKELERE GÖRE ALÇI ÜRETİM MİKTARLARI	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Kanada	9.9	10	10	10.1	10.2	10.4
Çin	8	8	8.1	8.2	8.3	8.5
Mısır	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Fransa	5	5.1	5.1	5.2	5.3	5.3
Almanya	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4
Yunanistan	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
İran	13	13	13.1	13.1	13.2	13.2
İtalya	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8
Japonya	6.2	6.3	6.4	6.5	6.5	6.6
Meksika	7.8	7.8	7.9	8	8	8.1
Rusya	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
İspanya	13.6	13.6	13.7	13.7	13.9	14
Suriye	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2
Tayland	8.6	8.6	8.6	8.6	8.8	8.9
İngiltere	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4
A.B.D.	22.3	22.4	22.5	22.6	22.8	22.9
Türkiye	3.4	3.4	4	4.1	5.5	5.7
Diğer Ülkeler	21.8	21.9	22.2	26.6	26.1	26.9
<b>Toplam</b>	<b>132</b>	<b>133</b>	<b>137</b>	<b>138</b>	<b>142</b>	<b>144</b>

Yeşilyurt-Denizli, Sivrihisar-Eskişehir, Çankırı, Çorum bölgelerinde çalışma ve etütlerimde alçıtaşı yataklarının ön değerlendirilmesi, Bölgesel dağılım Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Türkiye Alçıtaşı Yatakları Ve Potansiyeli

### 2.1 Bala-Şereflikoçhisar Bölgesi

Genelde sahadaki alçıtaşı yatakları üç farklı yapı göstermektedir. Bala-Aşıkoğlu-Odunboğazı... köyleri bögesi masif, yer yer tabakalı, ilk 0-13. metreleri arası yer yer dolinli tabanda anhidrit bulunmaktadır. Ortalama kalınlık 30. metre civarındadır İkinci bölge ise Aladağ serisi (Şahbaz, 1983) olup, kiltaşları ile başlayıp iki metrelik selenitik tabakalı anahtar seviye bulundurur. Devrik ve katlanmalı tabakalı, masif yapılı bu yatakta sınırlı sondajlı etütlerde 60.-90. metre alçı kesilmiş. (Şekil-3 ) Tabakalar arası ince laminalı gri kil bantları vardır. Şereflikoçhisar bölgesi faylanmalar nedeniyle farklılıklar göstermekle beraber Aşıkoğlu sahasına benzer. Aksaray’a kadar uzanan bu zonda bir temel sondajında ardanmalı birimde 300. metrelik kalınlık verilmektedir.  $2.5 \times 10^9$  ton rezerv verilmektedir. Bölgede üç farklı jeolojik yaşda alçıtaşı yatakları bulunmaktadır. Neojen ve Eosen yaşlı yataklar ekonomik değildir.

Şekil-1-b. USGS Ve Index Mundi’ye Göre Türkiye’nin Alçıtaşı ve Alçı Üretimindeki Yeri

En basitinden Türk çimento sektörünün alçıtaşı tüketimi yılda minimum  $4.5 \times 10^6$  tondur. Bu çalışmada istatistik verilerin mukayeseli bir yorumu, düzeltmeler ile yatırımlar için ekonomik önemi, Türkiye alçıtaşı ve alçı üretim tesis sayısı ve üretimleri verileri sunulacaktır. Öncelikle çok ucuz hammadde oluşu nedeniyle yatırımların alçıtaşı yatakları bölgelerinde olması, üretim istatistiklerinin doğruluğu çok önemlidir. Bu günkü alçı üretim teknolojilerine göre minimum %75  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  (safsızlık özelliğine göre) gereklidir. Bu alt limit değeri ve rezervler açısından, Türkiye alçıtaşı en kaliteli hammadde yatakları yatırım uygunluğu açısından kısaca aşağıda verilecektir.

## 2.TÜRKİYE ALÇITAŞI YATAKLARI

Ülkemiz alçıtaşı yataklarının detay jeolojik, sedimantolojik, petrografik, kimyasal incelenmesi Denizli Honaz bölgesi hariç bulunmamaktadır. M.T.A Genel Müdürlüğü raporları ise potansiyel saha verileri olup, ekonomik maden yatağı açısından değerlendirmesi bulunmamaktadır (Kaynaklar 1...6.). Ekonomi ve yatırım değerlendirmesi açısından 1990-2014 yılları arasında Tarsus- Adana-Mersin, -Ulukışla – Niğde, Ermenek-Konya, Sivas, Aşkale-Erzurum, Ayaş, Beypazarı, Bala, Şereflikoçhisar-Ankara, Aksaray, Honaz-



Şekil 3. Bala Yöresi Alçıtaşı Yatağından Bir Görünüm

## 2.2. Ulukışla-Niğde Bölgesi

Ulukışla çevresinde geniş yayılım gösteren bu yataklarda tabanda kalın bir anhidrit kütlesi yer alır. Yüzeyde yer yer anhidrit görülür. Değişik araştırmacılar 300-750. Metre zon kalınlığı vermektedirler (Şekil 4). Yine bölgede yapılan sondajlar da 400. metre jipsli birim kalınlığından bahsedilmektedir. Yöredeki açık ocaklarda jips kalınlığı 0-35. metredir.  $1 \times 10^9$  ton rezerv verilmektedir. Sölestinit mineralinin varlığı bilinmesine rağmen hiçbir detay etüdü yoktur.



Şekil 4a. Ulukışla alçı yatağı

## 2.3 Sivas Bölgesi

Türkiye'nin en büyük alçıtaşı yayılım sahasına sahip ilin ne yazık ki en az alçıtaşı üretim ve yatırımı bulunmaktadır. Masif, tabakalı, yüksek kaliteli yaklaşık  $1.5 \times 10^9$  ton rezerve sahiptir. Şekil-4. Sivas yöresi alçı taşı yataklarının kalınlıkları değişken olup 7-40. Metre arasında olduğu belirtilmektedir.



Şekil-4b. Sivas Alçıyatağından Bir Görünüm

## 2.4. Beypazarı-Ayaş-Sivrihisar Alçıtaşı Yatakları

Geniş bir yayılım gösteren yöre alçıtaşları tabakalı, yer yer kil, marn lamineli gri-beyaz renkli olup, tabaka eğimleri  $0-15^\circ$  arasındadır.  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yüzdesi 75-90 arasında değişim gösterir. Yaklaşık  $2 \times 10^9$  ton rezerve sahiptir. Havza kenarlarında yer yer masif görünümlü beyaz alçıtaşları bulunmakla beraber ekonomik olarak yeterli değildir.



Şekil 5. Beypazarı Bölgesi Tabakalı Alçıtaşı Mostraları

## 2.5. Tarsus Yöresi Selenitik Jips Yatakları

Mersin-Tarsus yataklarında temelde selenitik jips seviyeleri (80-90 %  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) üstüne masif-tabakalı beyaz jipsler gelmektedir. Burada da selenitik kristaller arası marn ve kil içeriği 5-26 % arasında değişmektedir. Bu tip yataklara benzer sahalar, İskenderun, Denizli-Yeşilyurt-Buldan sahalarıdır. Daha çok çimento sektörü için uygundur.



Şekil 6. Tarsus Çamyayla alçı yatağı.

## 2.6. Denizli-Honaz Alçı Yatağı

Saha gözlemleri ve bilimsel çalışmalara göre Türkiye'nin tek Mezozoik yaşlı alçıtaşı olup, kil, marn oranları ve tektonik yapı nedeniyle homojen bir yapısı yoktur. Yatak rezerv açısından alçı sektörü için yeterli değildir.



Şekil 7. Denizli Yeşilyurt Alçıtaşı Mostrası

Diğer taraftan Bala-Şereflikoçhisar Eosen yaşlı alçıtaşı birimi kalın tabakalı olup, yüksek örtü kalınlığı nedeniyle ekonomik değildirler.

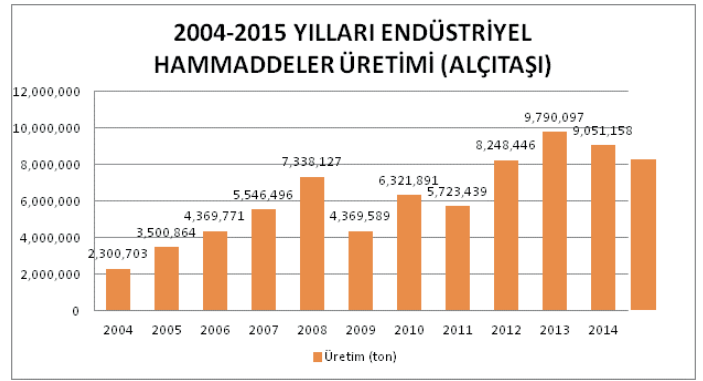
## 2.5. Karmaşık Tipli Yataklar

Diğer yataklar ise, Bursa-Gemlik, Balıkesir-Susurluk, Kütahya, İskenderun, Malatya-Hekimhan, Kırşehir-Nevşehir yöresi yatakları ise tabakalı-killi yer yer selenitik yapıdadırlar.

## 3. TÜRKİYE ALÇITAŞI VE ALÇI ÜRETİMİ

Alçıtaşının (Jips) 2002 yılı itibariyle maden kanunu kapsamına alınması ile hızlı bir şekilde alçı ve alçı ürünleri üretim tesisleri kurulmaya başlanılmıştır. Buna neden hammadde güvencesinin getirilmesi ve Türkiye de inşaat sektörünün büyümesidir. Diğer taraftan tüvenan alçıtaşı üretiminin daha sağlıklı olarak istatistiklerinin tutulması sağlanmıştır.

Yıllara göre alçıtaşı üretimi (2003-2015) alçıder ve Migem verileri aşağıda verilmiştir (Şekil 8-9). Sağlıklı istatistik verilerin 2006 yılından itibaren sağlandığı görülmektedir. 2009 üretim verileri ise düşüşleri kriz ile birlikte sağlıklı bir bildirim olmadığı düşünülmektedir. Türkiye de kurulu 67 çimento tesisi bulunduğu, göz önüne alınır ise  $76 \times 10^6$  ton/yıl üretim baz alınır ise çimento sektörünün tüvenan alçıtaşı kullanımı  $2.3-4.5 \times 10^6$  ton/yıl olduğu görülmektedir. 2009-2010 ve 2011 yılları üretim verilerinin düşük olması nedeni küçük üreticilerin sisteme dahil olmamasıdır.



Şekil 8. Migem Verilerine Göre Alçıtaşı Üretimi

Türkiye'de kurulu 67 çimento tesisi bulunmakta olup, yılda  $76 \times 10^6$  ton çimento üretimi yapılmaktadır. Türkiye'de alçı üretimi yapan 18 firma 28 fabrika da faaliyet de bulunmaktadır.

2013 yılında alçı üretim miktarının 5.100 milyon tonda kaldığı, 2015 yılında ise üretim miktarının az sayılabilir bir artışla 5.650 milyon tona çıktığı görülmektedir.

Türkiye'nin alçı ihracatı kriz dönemine kadar sürekli artış göstermiştir. 2007 yılında bir önceki yıla göre % 21,8 oranında artarak 65,9 milyon dolar düzeyinde gerçekleşen alçı ihracatı, 2008 yılında 84,3 milyon Dolar düzeyinde gerçekleşmiş, 2009 yılında da % 21, lik bir küçülme oranı ile 66,9 milyon Dolar seviyesine düşmüştür. 2010 yılı alçı ihracatı 90 milyon dolar olarak gerçekleştirilmiştir. Alçı ihracatı yaptığımız ülkeler arasında Ukrayna, Rusya Federasyonu ve Azerbaycan ilk sıralarda yer almaktadır.

Milyon Ton			
2012	Yurtiçi Üretim	İhracat	Toplam
Alçı	3.150	700	3.850
Alçı Levha	620	200	820
<b>Toplam</b>	<b>3.770</b>	<b>900</b>	<b>4.670</b>

Milyon Ton			
2013	Yurtiçi Üretim	İhracat	Toplam
Alçı	3.400	800	4.200
Alçı Levha	700	210	910
<b>Toplam</b>	<b>4.100</b>	<b>1.010</b>	<b>5.110</b>

Milyon Ton			
2014	Yurtiçi Üretim	İhracat	Toplam
Alçı	3.600	850	4.450
Alçı Levha	750	250	1.000
<b>Toplam</b>	<b>4.350</b>	<b>1100</b>	<b>5.450</b>

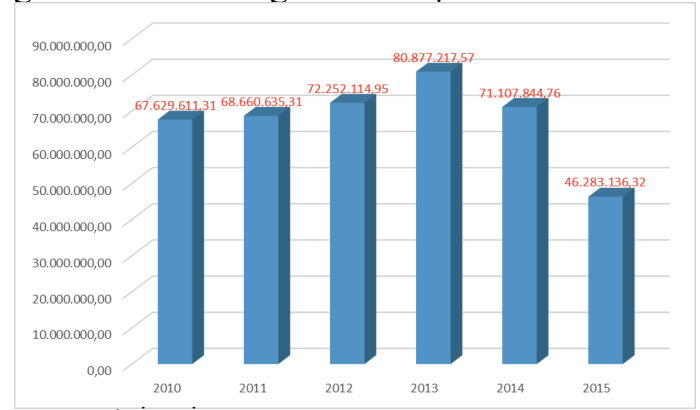
Milyon Ton			
2015	Yurtiçi Üretim	İhracat	Toplam
Alçı	3.800	800	4.600
Alçı Levha	800	250	1.050
<b>Toplam</b>	<b>4.600</b>	<b>1.050</b>	<b>5.650</b>

üretim verilerinin düşük olması nedeni küçük üreticilerin sisteme dahil olmamasıdır.

Alçı ve alçı ürünleri ihracatı verileri ise Şekil 10-11 ile verilmektedir. İMMİB verileri kaynaklara göre Alçıder verilerinden yaklaşık % 10 daha düşük değerdedir.

2015 yılında Alçı Taşı ihracatımız, bir önceki yıla göre miktarda %23,4 değerinde ise %34,9 oranında azalışla, 647 bin ton karşılığı 46,2 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir.

Nijerya 9,9 milyon dolar (%10 artış), Rusya Federasyonu 9,6 milyon dolar (%53 azalış), Gürcistan 5,3 milyon dolar (%11,5 azalış) alçı taşı ihracatımızın yapıldığı önde gelen ülke ve bölgeler olmuştur.



Kaynak: İMMİB

Son 5 Yıllık Alçı Taşı, Alçı ve türevleri İhracatımız (USD)

MAL GRUBU - YILLIK TÜRKİYE GENELİ MADEN İHRACATI DEĞERLERİ													
G	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	
A	2_	3_	4_	5_	6_	7_	8_	9_	0_	1_	2_	3_	4_
D	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
L	7,	5,	5,	3,	4,	5,	3,	5,	7,	8,	2,	0,	1,
Ç	12	41	12	49	65	94	94	96	62	66	25	87	10
I	9,	4,	7,	1,	3,	5,	6,	6,	9,	0,	2,	7,	7,
T	37	48	95	85	22	88	94	27	61	63	11	21	84
A	5	3	5	6	3	2	2	7	1	5	5	8	5
Şİ													
,													
A													
L													
Ç													
I													
L													
A													
R													

Kaynak: İMMİB

Alçı üretimi yapan 18 firma değişik kapasite de 28 fabrikada faaliyet göstermektedir. Sağlıklı olarak bu

### Şekil 9. Türkiye Alçı Ve Alçı Levha Üretimi (Alçıder 2016)

Ankara-Aksaray yöresinde alçıtaşı üretimi yapan 26 firma bulunmaktadır. Ankara bölgesinde yıllık  $3.5 \times 10^6$  ton tüvenan alçı üretimi yapılmaktadır. İkinci durumda olan Ulukışla bölgesi olup, yaklaşık  $0,6 \times 10^6$  ton alçıtaşı üretimi yapılmaktadır. Kurulu 28 adet alçı üretimi yapılan tesisler de kurulu kapasite ve kullanımı hakkında yeterli verilere ulaşılammıştır.

### 3.1 Üretici Madencilik Firmaları ve Alçıtaşı ve Mamülleri İhracatı

Yıllara göre alçı ve alçıtaşı üretimi (2003-2015) alçıder ve Migem verileri verilmiştir (Şekil 8-9). Sağlıklı istatistiki verilerin 2006 yılından itibaren sağlandığı görülmektedir. 2009 üretim verileri ise düşüşleri kriz ile birlikte sağlıklı bir bildirim olmadığı düşünülmektedir. Türkiye'de kurulu 67 çimento tesisi bulunduğu, göz önüne alınır ise  $76 \times 10^6$  ton/yıl çimento üretimine göre çimento sektörünün tüvenan alçıtaşı kullanımı  $4.5 \times 10^6$  ton/yıl olduğu görülmektedir. Buna göre 2002-2006 alçıtaşı üretimi Migem verilerine göre düşük olduğu görülmektedir. 2009-2010 ve 2011 yılları

fabrikaların kurulu kapasiteleri hakkında detaylı bilgi elde edilememiştir.

İli	Ruhsat Sayısı	Faaliyetsiz Ruhsatlar
Ankara	54	8
Bala	34	
Niğde	10	3
Aksaray	6	1
Erzurum	4	
Siirt	6	2
Batman	4	2
Denizli	13	6
Konya	1	1
Bolu	1	
Çorum	8	3
Çankırı	4	2
Kayseri	4	2
Kırıkkale	5	
Malatya	7	4
Tunceli	4	1

Şekil-10. Türkiye’de alçı işletme ruhsatlarındaki üretim faaliyetleri

Türkiye genelinde işletme ruhsat sayısı 394, bu ruhsatlardan işletme izin ruhsatlı sayısı 166, normal koşullarda fiilen üretim yapılan ruhsat sayısı 90 adettir. (Şekil 12.)

#### 4 ÖNERİLER

Dünya genelinde çimento üretiminin 1/3 ile 1/5 kadarı alçı üretimi ideal olarak tanımlanmaktadır. Buna göre Türkiye’de alçı üretiminin yıllık  $12-20 \times 10^6$  ton olması düşünülmektedir. Bu hedefler doğrultusunda mevcut alçı üretimi tesislerinin bu kapasiteye ulaşması için planlama yapılmalıdır. Bugün için tüm inşaat sektöründe iç sıva da kullanımı standart haline getirilmeli ve zorunlu kılınmalıdır. Deprem bölgesi olan ülkemizde, ısınma amaçlı kıt yakıt nedeniyle ısı tasarrufu için bu planlanmalıdır.

Doğudan başlayarak, Kars, Tunceli, Erzurum ve Sivas Bölgesi, hammadde potansiyeli ve güvencesi ile öncelikli yöreler olmalıdır. Bu yatırımlar aynı zamanda nakliye maliyetlerini de azaltacaktır.

Komşu ülkelerde (Suriye, Irak) inşaat faaliyetleri 2-3 yılda artacağından alçı ve alçı ürünlerini en yakın ülke olan Türkiye rekabet ortamında yatırımcılar için büyük avantaj sağlayacaktır.

Diğer taraftan jips ile anhidrit olan sahalarda iç sıvalarda kalsit yerine anhidrit öğütülüp kullanılabileceği tarafımızdan yapılan 5 yıllık deneylerde ortaya

konulmuştur. Yapılan bu deneysel teknik çalışmalar sanayi uygulamaları ile tekrar test edilip, uygulamaya geçilmesi, mikronize kalsit kullanımı açısından da kazanç sağlayacaktır.

#### 5. SONUÇ

Önerilen bu veriler ışığında çevrenin korunması için inşaat sektöründe kaba ve ince sıvada kum-silt tane boyulu malzeme sağlayan tüm dere yataklarının doğası bozulmayacak

Katkı maddesi olarak kullanılan mikronize kalsit kullanımı yerine anhidrit kullanımı ile azalacak ve mikronize kalsitin diğer sanayilerde kullanımı sağlanacaktır.

Alçının kullanımı iç sıvada ısı yalıtım sağlaması ile enerji tasarrufu sağlamakla kalmayıp, sağlıklı bir iç mekan yaşam alanı oluşturacaktır.

Depremsellik açısından daha hafif bir yapı söz konusu olup, bina ağırlığı azalacak, riskler azalacaktır.

Enerji tasarrufu ile milli ekonomiye katkısı ile döviz tasarrufu sağlayacaktır.

İnşaatlarda işçilik maliyetleri azalacaktır.

Bildirideki görüşler kişisel olup kurumların görüşleri değildir.

#### TEŞEKKÜR

Yazılımda ve düzenlenmesinde emekleri için Dr. Fırat Atalay, maden mühendisi Ersin Dik, Aslıhan Çalış’a teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR

1. Alçıçek, H., (2007). Denizli Havzası Neojen Çökellerinin Sedimentolojik İncelenmesi Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi
- 2- Bingöl, E., (1997). Türkiye Alçıtaşı Yatakları Bildiri Özeti 3. Alçıtaşı Kongresi Alçıder Ankara
- 3- Brennich, C., (1965,1966,1967,1968) Yıllarındaki Türkiye’deki bazı jips zuhurları hakkında Raporları, M.T.A (Arşivi yayınlanmamış).
- 4-a. Çayırılı, H., (1991) Türkiye Alçı Yatakları I. Alçıtaşı kongresi Alçıder Ankara
- 4-b. Erdoğan, M., (1997) Türkiye’de Alçıtaşı Yatakları ve Özellikleri II. Alçıtaşı Kongresi
- 5- Gündoğan, İ., Helvacı, C., (2001) Sedimentological and Petrographical Aspects of Beypazarı and Çankırı. International Geology Review 43, 818-829
- 6- Gündoğan, İ., Helvacı, C., Sözbilir, H., (2008) Gypsiferrous Carbonate at Honoz Dağı

- 7- Kulaksız, S., Görmüş, S., Şahbaz, A.,(1997). Adana,Mersin,Balıkesir,Bursa Ankara,Bolu,Niğde Alçıtaşı Yataklarının Ön Prospeksiyon Raporu Hacettepe Ün. Müh. Fakültesi Vakfı 86. S. Yayınlanmamış .
- 8- Kulaksız, S., Görmüş, S., Şahbaz, A.,(1997). Tarsus, Ulukışla, Aksaray Bölgesi Bazı Ruhsatlı Alçıtaşı Sahalarının İncelenmesi ve Ekonomik Potansiyeli Hacettepe Ün. Müh. Fakültesi Vakfı Yayınlanmamış 81 S.
- 9- Kulaksız, S., Görmüş, S., Şahbaz, A.,(1997). Elmadağ, Şereflikoçhisar, Bala Bazı Ruhsatlı Alçıtaşı Sahalarının Ön İncelemesi ve Ekonomik Potansiyeli 67. S. Yayınlanmamış Hacettepe Ün. Müh. Fak. Vakfı Ankara
- 10- Görmüş, S., Kulaksız.,(1998). Beypazarı Acısu Jips Sahasının Ön İşletme Projesi Hacettepe Ün. Müh. Fak. Vakfı Knauff A.Ş. 20 S. Yayınlanmamış 40 S.
- 11-Kulaksız S., 1999 Doğal hafif yapı malzemesi kullanımının diğer malzemelerle teknik özellikleri ve ekonomiklik açısından karşılaştırılması.Enerji tasarrufunda jeotermal enerjinin ve yalıtımlı hafif yapı malzemelerinin önemi sempozyumu.M.T.A. Genel Müdürlüğü ,ed:A. Bülbül ,N. Coşar , F. Şener.
- 12- Kulaksız S., Bayram F., Yaşitli E.,(2008). Aşıkoğlu Alçıtaşı Sahasının Açıkocak İşletmesi Rehabilitasyonu Hacettepe Ün. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi 50.s.
- 13- Kulaksız S.,(2010). Anhidritin Sıvada Kullanımı Madinsan A.Ş. Teknik Rapor 10 Sayfa Yayınlanmamış.
- 14- Yahşi İ., Kulaksız S., (2015). Bala-Aşıkoğlu Alçıtaşı Yataklarında Taşocak İşletmeciliğinden Maden İşletmeciliğe geçiş. 24. Türkiye Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiri Kitabı

# Karbonat Kökenli Bazı Doğal Taşların Termal Davranış Performanslarının Belirlenmesi

## *Determining the Performans of Thermal Behavior of Some Natural Stones with Carbonate Origin*

M. Kun, T. Mallı

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir*

**ÖZET** Günümüzde gerek yapı ve kaplama gerekse dekoratif ve izolasyon amaçlı olarak değerlendirilen doğal taşların inşaat ve yapı sektörlerinde kullanımı giderek artmaktadır. Oluşum mekanizmaları gereği doğal taşların sahip oldukları karakteristik özelliklerin bilinmesi, var olan özelliklerin detaylı olarak ortaya konulması, doğal taşların olduğu kadar tüm doğal malzemeler içinde oldukça önemlidir. Doğal taşların yapıları gereği sahip oldukları ısıl davranış özelliklerinin belirlenmesi, ısıl geçirgenlik katsayıları ve kızıl ötesi termografi ölçümlerinin yapılarak değerlendirmesi, çalışmanın özünü oluşturmaktadır. Bu bağlamda çalışma içerisinde farklı yörelere ait sık kullanılan beş farklı doğal taşın ısıl özellikleri belirlenmiş, termografik ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

**ABSTRACT** Today, the use of natural stones which are evaluated as decorative and isolation purposes, have been increasing in the construction and building sectors. Therefore, the utilization of these stones as building materials becomes significant with respect to their thermal insulation performances. Determination of the thermal behavior properties of natural stones due to their structure, evaluating the thermal conductivity coefficients and the measurements of the infrared thermography constitute the essence of the study. In this context, thermal properties of five frequently used natural stones belonging to different regions were determined and the results obtained were interpreted in the study.

### 1 GİRİŞ

Günümüzde hızla artan şehir nüfusu, yapı ve inşaat sektörüne olan ilgiyi de arttırmış ve bu durum her iki sektörde de yoğun olarak kullanılan doğal malzemelerin (doğal taş, ağaç vb.) özelliklerinin bilinip, uygun yerlerde kullanım zorunluluğunu doğurmuştur. Gelişen teknoloji, çevre bilinci ve buna bağlı olarak giderek artan enerji talebi, özellikle doğal malzeme kullanımını arttırmış, yerinde, uygun ve nitelikli malzemelerin kullanımı da, ekonomik ve çevresel değerlere pozitif katkılar sağlamıştır.

Eski çağlardan beri yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taşların, günümüzde daha

çok döşeme, kaplama ve dekoratif amaçlı kullanılması, bu kayaçların gerek kullanım yerlerinin tercihi gerekse enerji açısından önemlidir. Isı yalıtımı amacı ile cephe kaplamalarında kullanılan birçok farklı malzeme bulunmaktadır. Estetik görünüm ve teknik özellikleri açısından yaygın olarak kullanılan doğal taşların, termal davranışlarındaki üstünlükler nedeni ile (ısı geçirgenliği, ısı birikimi, sağlığa uygunluk vb.) farklı mekânlarda (iç ve dış cephe kaplama, fayans, vb.) daha bilinçli ve yerinde kullanılması gerekmektedir (Tufan ve Kun 2014).

Hazırlanan çalışmada, farklı yörelere ait doğal taşların ısıl özellikleri belirlenmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak



yorumlanmaya çalışılmıştır. Bu amaç için ele alınan örneklerin öncelikle ısı iletim katsayıları “hot wire” metodu ile ölçülmüş daha sonra aynı örnekler çalışmada kullanılan kızılötesi termal kamera yardımı ile görüntülenmiştir.

Kızılötesi termografi yöntemi tahribatsız bir sıcaklık haritalama yöntemi olup, yüzey sıcaklığının önemli olduğu birçok endüstriyel çalışma alanında kullanımı mevcuttur. Bu yöntem ile birçok malzeme ve yapının ısıl analizi yapılabilmektedir (Tufan ve Kun 2014). Çalışmada, yalıtım ve yapı malzemeleri üzerinde yaygın olarak uygulanan kızılötesi termografi analizleri ve ısıl geçirgenlik katsayısı ölçümleri bir arada değerlendirilerek, seçilen numunelerin ısıl yalıtım performansları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Örnekler üzerinde termografik testler yapılırken, günlük hatta kullanılan ebatlarda olmasına önem verilmiştir.

Malzeme karakterizasyonu amacı ile kullanılan kızılötesi termografi yöntemi, Demirdağ ve Gündüz (2003), Vosteen ve Schellscmidt (2003), Meola vd. (2004), Nilica ve Harmuth (2005), Meola (2007) ve Shi vd. (2007) gibi birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, çeşitli taş ve yalıtım malzemesinin ısıl özellikleri birçok araştırmacı tarafından detaylı biçimde incelenmiştir (Al-Kassir vd. 2005, Synnefa vd. 2006, Barreira ve Freitas 2007, Durmus ve Görhan 2009). Ayrıca Gündüz vd. (2001) tarafından da farklı mermer türlerinin ısıl kapasite değerleri araştırılmış ve değerlendirilmiştir.

## 2 YÖNTEM

Hazırlanan çalışma kapsamında doğal taşların termografik özelliklerinin ve ısıl geçirgenliklerinin tayini için, Türkiye’ nin farklı yörelerinden örnekler alınmış ve bu örneklerin alındığı lokasyonlar Şekil 1’ de gösterilmiştir. Antalya, Burdur, Muğla ve Denizli illerinden alınan bu örneklerin gerek ısıl geçirgenlik gerekse termal görüntüleme analizlerinde kullanılacak biçimde boyutlandırılma işlemleri, örneklerin alındıkları fabrikalarda hassas olarak yapılmıştır. A<sub>1</sub> olarak kodlanan örnek Karamanlı, Burdur yöresinden (bej mermer), B<sub>1</sub> olarak kodlanan örnek Yeşilova, Burdur yöresinden (bej mermer), M<sub>1</sub> olarak kodlanan örnek Kavaklıdere, Muğla yöresinden (beyaz mermer), L<sub>1</sub> olarak kodlanan örnek Demre, Antalya yöresinden

(limra) ve T<sub>1</sub> olarak kodlanan örnek te Denizli (traverten) yöresinden alınmıştır.



Şekil 1. Örneklerin alındığı yöreler.

Termografi ya da termal görüntüleme yöntemi, nesnelere yüzey sıcaklığını esas alan görüntünün genel yapısının ısıya göre oluşmuş renk ve şekiller tarafından belirlenmesidir (Grinzato vd. 1998, Luong 2004). Bu yöntemde yüzeyden kızılötesi bantta yansıyan termal enerji, her bir enerji seviyesinin farklı renklerle gösterildiği gözle görülebilir bir renk spektrumu olarak sunulur (Popov vd., 1999, Meola vd. 2005, Avdelidis vd. 2007). Kızılötesi ışınlarını kullanan termal kameralar bu sistemleri kullanmakta ve nesnelere yüzeylerinde oluşan termal farklılıkları da saptayabilmektedir (Peterson ve Innocenzi 2002 (Kun ve Tufan 2015).

Çalışmada, termografik ölçümler için tasarlanan cihaz, doğal taşların üzerine yerleştirileceği, tamamen izole ve homojen ısı dağılımı sağlayan bir yapıdadır. Cihaz yüzeyi, üzerine konulan standart ölçülerde (30x30), (40x40) ya da (60x60) örneklerin, tüm yüzeylerine aynı ısıyı verebilmesi amacı ile 1200°C sıcaklıklara dayanabilen sodyum silikat ve kuvars karışımı hamur ile kaplanmıştır. Bu hamur aynı zamanda yüksek fırın ve benzer ısıl işlem cihazlarının rezistanslarının gizlenerek ortama homojen ısı yaymalarını sağlayan bir malzemedir. Geliştirilen bu cihazla, üzerine konumlandırılan örneğin homojen ısı alması sağlanmakta ayrıca rezistanslar ve hamur malzemesi arasına yerleştirilen termokupllar

ile de cihaz yüzeyinin sıcaklık dağılımı her an kontrol edilebilmektedir.

Termal görüntüleme işlemi için kullanılan termal kameraya ait teknik özellikler Çizelge 1'de verilmektedir. Bu bağlamda, Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü ısıtma işlem laboratuvarında 60x60x2 cm boyutlarında beş farklı örnek üzerinde termal testler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir (Şekil 2).

Çizelge 1. Termal kamera özellikleri

	Değerler
Termal çözünürlük	240 x 180 piksel
Termal hassasiyet	$\leq 0,05^{\circ}\text{C}$
Sıcaklık ölçüm aralığı	$-20^{\circ}\text{C} / 650^{\circ}\text{C}$
Minimum fokus	0,4 metre



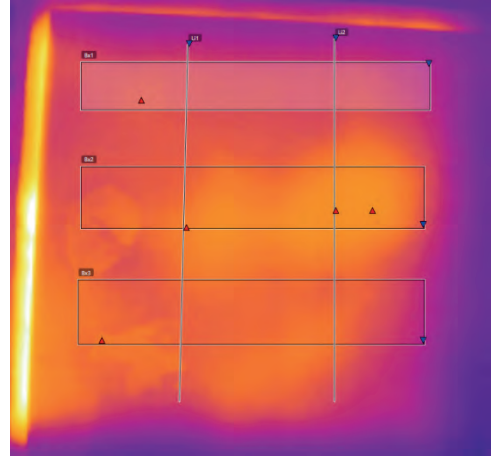
Şekil 2. Termal kamera ve düzeniği

Bu düzenek sayesinde, arka yüzünden ısıya maruz bırakılan doğal taşın termal kamera ile elde edilecek termografik görüntüleri, cihazla birlikte gelen özel yazılım ile işlenip incelenebilmekte ve bu sayede ölçümler değerlendirilebilmektedir.

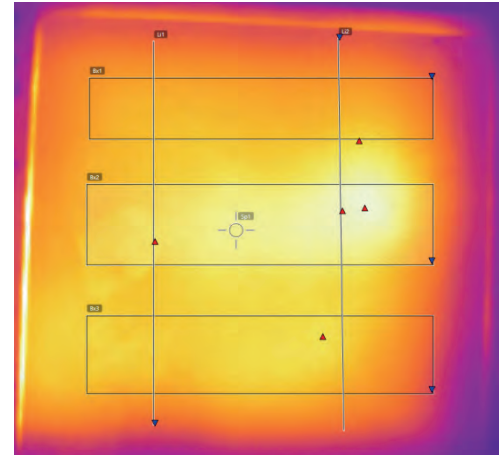
### 3 ÖLÇÜM VE DEĞERLENDİRMELER

Deney düzeniğine yerleştirilen farklı örneklerin her biri 30 dakika boyunca  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $45^{\circ}\text{C}$  ve  $60^{\circ}\text{C}$  düzgün dağılımlı ısıya maruz bırakılmış ve her yüzey sıcaklıkları her 10 dakikada bir, termal kamera ile okunarak kaydedilmiştir. Yanda A<sub>1</sub> kodlu Burdur Bej mermeri örneğinin, çalışmaya konu olan

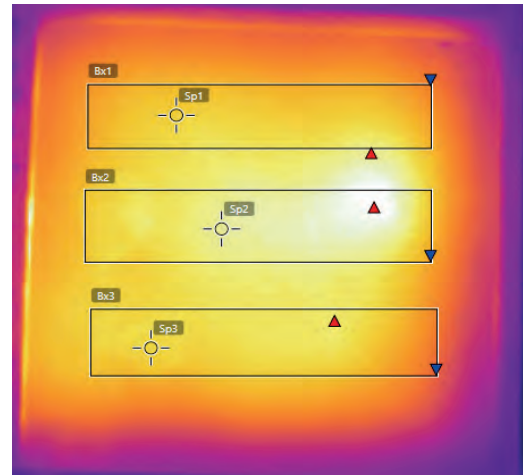
$60^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa maruz bırakıldığında, yüzeyinin farklı zaman aralıklarında çekilen ve yazılım ile işlenen termal görüntüleri örnek olarak verilmektedir (Şekil3-5).



Şekil 3. A<sub>1</sub> mermer örneğinin  $60^{\circ}\text{C}$  ısı kaynağı üzerinde 10 dakika sonrası yüzey sıcaklığına ait termografik görüntüleri.



Şekil 4. A<sub>1</sub> mermer örneğinin  $60^{\circ}\text{C}$  ısı kaynağı üzerinde 20 dakika sonrası yüzey sıcaklığına ait termografik görüntüleri.



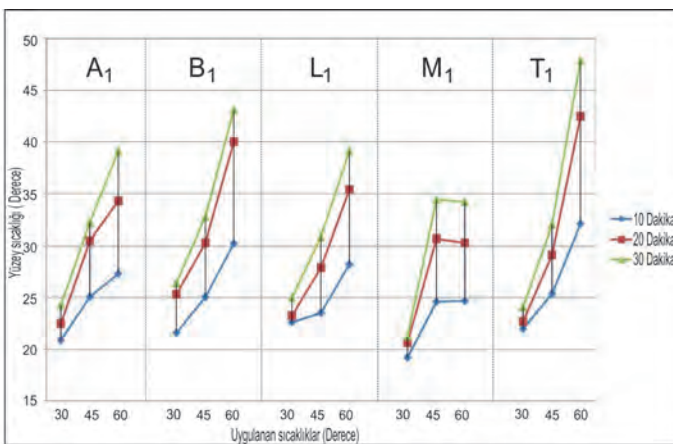
Şekil 5. A<sub>1</sub> mermer örneğinin  $60^{\circ}\text{C}$  ısı kaynağı üzerinde 30 dakika sonrası yüzey sıcaklığına ait termografik görüntüleri.

Bu ölçümlere ait termal görüntülerden elde edilen toplu sonuçlar Çizelge 2' de verilmektedir.

Çizelge 2. Farklı sıcaklık ve zaman aralıklarında ölçülen yüzey sıcaklıkları ( $^{\circ}\text{C}$ )

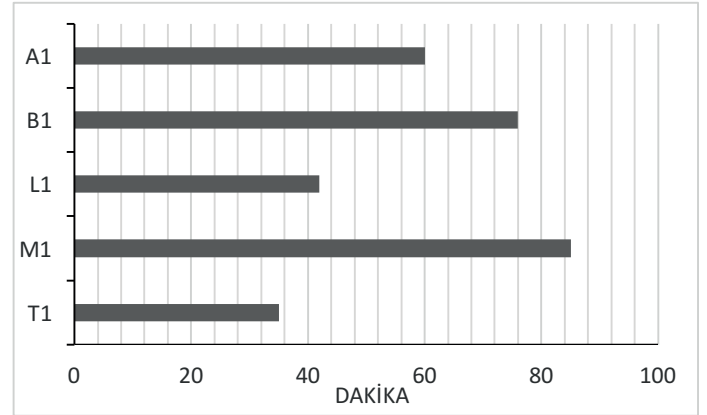
$A_1$	10 Dakika	20 Dakika	30 Dakika
$30^{\circ}\text{C}$	20,9	22,5	24,3
$45^{\circ}\text{C}$	25,1	30,5	32,2
$60^{\circ}\text{C}$	27,3	34,3	39,1
$B_1$			
$30^{\circ}\text{C}$	21,6	25,3	26,4
$45^{\circ}\text{C}$	25,1	30,3	32,8
$60^{\circ}\text{C}$	30,2	40	43,1
$L_1$			
$30^{\circ}\text{C}$	22,6	23,3	25
$45^{\circ}\text{C}$	23,5	27,9	30,9
$60^{\circ}\text{C}$	28,2	35,4	39,1
$M_1$			
$30^{\circ}\text{C}$	19,2	20,6	21,3
$45^{\circ}\text{C}$	24,6	30,7	34,4
$60^{\circ}\text{C}$	24,7	30,3	34,2
$T_1$			
$30^{\circ}\text{C}$	21,9	22,6	24,1
$45^{\circ}\text{C}$	25,3	29,1	32
$60^{\circ}\text{C}$	32,1	42,4	47,9

Şekil 6' da, Çizelge 2' de verilen üç farklı zaman aralığında ve sıcaklık değerinde örnek yüzeylerinden okunan sıcaklık dağılımlarının grafiksel gösterimine yer verilmiştir.

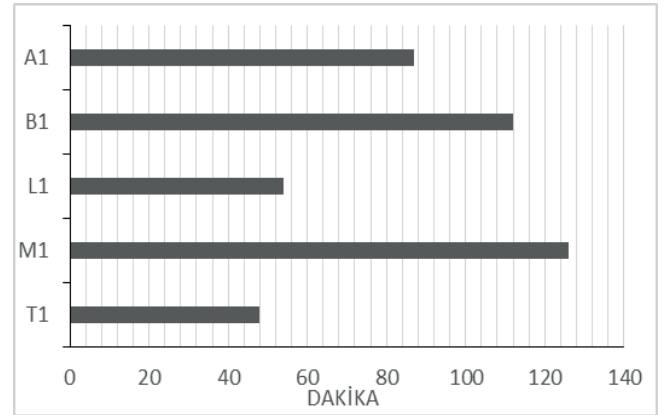


Şekil 6. Örneklerin 30 - 45 -  $60^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa maruz bırakıldığında, farklı zamanlarda okunan yüzey sıcaklık değerleri.

Ayrıca çalışma içerisinde, örneklerin belirlenen sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra, oda sıcaklıklarına dönüş süreleri de incelenmiş ve  $45^{\circ}\text{C}$  ile  $60^{\circ}\text{C}$  için gözlenen durum Şekil 7 ve Şekil 8 de verilmiştir.



Şekil 7. Mermer örneklerin  $45^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa maruz bırakıldığında, oda sıcaklığına dönme süreleri



Şekil 8. Mermer örneklerin  $60^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa maruz bırakıldığında, oda sıcaklığına dönme süreleri

Doğal taşların termografik ölçümler ile eş zamanlı olarak ısıl geçirgenlik katsayı ölçümleri yapılmıştır. "Hot Wire" metodu ile tespit edilen ısıl geçirgenlik katsayı değerleri Çizelge 3' de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Örnekler için ısıl geçirgenlik katsayısı ölçümleri ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^{\circ}$ )

Kodu	Türü	Isıl geçirgenlik katsayısı
$A_1$	Bej Mermer	2,41
$B_1$	Bej Mermer	2,43
$L_1$	Limra	1,91
$M_1$	Beyaz Mermer	2,79
$T_1$	Traverten	2,03

## 4 SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Günümüzde gerek yapı ve kaplama gerekse dekoratif ve izolasyon amaçlı olarak değerlendirilen doğal taşların inşaat ve yapı sektörlerinde kullanımını giderek artmakta ve dolayısı ile mekanik özellikler ve kimyasal bilişimin yanı sıra, sahip oldukları karakteristik özelliklerin bilinmesi, var olan özelliklerin detaylı olarak ortaya konulması gereği ortaya çıkmaktadır.

Doğal taşların yapıları gereği sahip oldukları ısı davranış özelliklerinin belirlenmesi, ısı geçirgenlik katsayıları ve kızıl ötesi termografi ölçümlerinin yapılarak değerlendirmesi amacı ile hazırlanan bu çalışmada elde edilen bulgular aşağıda sunulmaktadır.

Eş ısı kaynağı ile gerçekleştirilen deneylerde örnekler 30°C, 45°C ve 60°C sıcaklığa maruz bırakılmış ve bu değerlere karşılık gelen yüzey sıcaklıkları 10, 20 ve 30 dakikalık sürelerde ölçülmüştür. Bunun yanı sıra örneklerin belirlenen sıcaklıklara tabi tutulduktan sonraki süreçten, oda sıcaklığına geri dönme süreleri (~19-21°C) de kayıt altına alınarak, örneklerin ısıyı tutma kapasiteleri hakkında da bilgi sahibi olmaya çalışılmıştır.

Buna göre; bej mermerler (A<sub>1</sub> ve B<sub>1</sub>) gerek termografik analizlerde gerekse ısı geçirgenlik katsayısı ölçümlerinde benzer ısı özellikler göstermektedir. 60°C'lik ısı kaynağı ile 30 dakika sonunda ulaşılan ortalama yüzey sıcaklıkları için sırasıyla 39 ve 43°C'dir.

M<sub>1</sub> örnek kodlu, ısı geçirgenlik katsayısı 2,79 W/m<sup>2</sup>.K° olan beyaz mermerin, Çizelge 2 ve Şekil 8 den de anlaşılacağı gibi, 45°C ve 60°C ölçümlerinde ısıya maruz kalma süresi artsa da, aldığı ısıyı yüzeye yansıtmadığı, ayrıca sıcaklığın 45°C den 60°C çıktığında, yüzeyden ölçülen değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu (34,4 -34,2°C) gözlenmiştir. Bu durum Muğla Beyaz mermerinin sıcaklığı içene hapsedip, yüzeye veya dışarıya diğer örnekler kadar yansıtmadığını göstermektedir. Ayrıca M<sub>1</sub> kodlu örneğin soğuma eğilimi incelendiğinde, diğer örneklerle nazaran aldığı ısıyı en geç sürede ortama veren bir durum sergilediği gözlenmiştir.

Limra ve traverten taşları termografik özellik ve ısı geçirgenlik katsayısı açısından benzer davranış göstermektedir. 60°C'lik ısı kaynağı ile 30 dakika sonunda ulaşılan ortalama yüzey sıcaklıkları limra ve traverten örnekleri için sırasıyla 39,1 ve 47,9°C'dir. Sahip olduğu düşük ısı geçirgenlik

katsayısına rağmen traverten, ısı yalıtım performansı olarak yetersiz kalmıştır. Poroz olduğu kadar delikli ve boşluklu yapısı (yer yer birbiri ile bağlantılı 3-5 cm genişliğinde boşluklar) travertenin ısı tutma kapasitesini düşürmekte ve yüksek ortalama yüzey sıcaklığı ölçümlerine neden olmaktadır.

Limra numunelerinde ise, traverten numunelerine kıyasla ısı geçirgenlik katsayısının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun limranın petrografik özellikleri, mineral yapısı ve kayaç yapısındaki mikro gözenekler ile ilgili olduğu düşünülmekte ve çalışmalar bu yönde devam etmektedir.

Çalışma sonucunda, kızılötesi termografi analiz yönteminin, doğal taşların ısı performanslarını değerlendirmede verimli olarak kullanılabilmesi için fiziksel özelliklerin yanı sıra kayaçların petrografik ve kimyasal özellikleri ile birlikte irdelenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Aksi durumda benzer fiziksel özelliklere (porozite, birim ağırlık vb..) sahip kayaçların, çok farklı ve uyumsuz ısı özellikler göstermesi mümkündür. Benzer yapıdaki kayaçların ortaya koydukları farklı termal davranışların daha net olarak ortaya konulabilmesi için araştırmanın bundan sonraki bölümlerinde kayaçların mineral bileşimleri, porozite durumları vb.. özellikler araştırılarak sonuçları değerlendirilecektir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne 2013.KB.FEN.022 no'lu projeye olan desteklerinden dolayı teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Al-Kassir, A.R, Fernandez, J, Tinaut, F.V, Castro, F, 2005. Thermographic study of energetic installations. *Applied Thermal Engineering*, 25: 183-190, Elsevier.
- Avdelidis, N.P, Kouli, M, Ibarra-Castanedo, C, Maldague, X, 2007. Thermographic studies of plastered mosaics. *Infrared Physics & Tech.*, 49: 254-256, Elsevier.
- Barreira, E, Freitas, V.P, 2007. Evaluation of building materials using infrared thermography. *Construction and Building Materials*, 21: 218-224, Elsevier.
- Demirdağ, S, Gündüz, L, 2003. The characteristics of pumice and analysis of thermal insulation. *18<sup>th</sup>*

- International Mining Congress and Exhibition*, 10-13, Turkey.
- Durmuş, G, Görhan, G, 2009. Evaluation of thermographic images with respect to thermal conductivity. *Journal of Technical-Online*, Vol.8, 1: 48-57.
- Grinzato, E, Vavilov, V, Kauppinen, T, 1998. Quantitative infrared thermography in buildings. *Energy & Build.*, 29: 1-9.
- Gündüz, L, Uğur, L, Demirdağ, S, 2001. Mermer türlerinin özgül ısı kapasite değerleri üzerine teknik bir inceleme. *Türkiye III. Mermer Sempozyumu*, Afyon.
- Kun, M, Tufan, B, 2015. Farklı Doğal Taşların Isıl Yalıtım Performanslarının Değerlendirilmesi. *Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, Antalya
- Luong, M.P, 2004. Mechanical performance of wood construction materials, *16<sup>th</sup> World Conference on Nondestructive Testing*, Montreal-Canada.
- Meola, C, Carlomango, M, Gierleo, L, 2004. The use of infrared thermography for materials characterization. *Journal of Materials Processing Tech.*, 155-156:1132-1137, Elsevier.
- Meola, C, Di Maio, R, Roberti, N, Carlomagno, G.M, 2005. Application of infrared thermography and geophysical methods for defect detection in architectural structures. *Engineering Failure Analysis*, 12: 875-892, Elsevier.
- Meola, C, 2007. Infrared thermography of masonry structures. *Infrared Physics & Technology*, 49: 228-233, Elsevier.
- Nilica, R, Harmuth, H, 2005. Mechanical and fracture mechanical characterization of building materials used for external thermal insulation composite systems. *Cement and Concrete Research*, 35: 1641-1645, Elsevier.
- Peterson J.E, Innocenzi, M.J., 2002. Use of Infrared thermography as a standard in the quality assurance and quality control of grouted masonry construction, *Inframation*, ITC 035 A.
- Popov, Y.A, Pribnow, F.C, Sass, J.H, Williams, C.F, Burkhardt, H, 1999. Characterization of rock thermal conductivity by high-resolution optical scanning. *Geothermics*, 28: 253-276, Pergamon.
- Shi, W, Wu. Y, Wu. L, 2007. Quantitative analysis of the projectile impact on rock using infrared thermography. *International Journal of Impact Engineering*, 34: 990-1002, Elsevier.
- Synnefa, A, Santamouris, M, Livada, I, 2006. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 80: 968-981, Elsevier.
- Tufan, B, Kun, M, 2014. Thermal insulation performance and thermal conductivity evaluation of natural stones by infrared thermography. *Proceedings of the International Conference on Mining, Material and Metallurgical Engineering*, Paper No.62, Czech Republic.
- Vosteen, H.D, Schellschmidt, R, 2003. Influence of temperature on thermal conductivity, thermal capacity and thermal diffusivity for different types of rock. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28: 499-509, Pergamon.

# ***CEVHER ZENGİNLEŞTİRME / ÜRETİM METALURJİSİ***

# Karıştırmalı Bilyalı Değirmende Talkın Öğütme Sürecine Öğütme Yardımcılarının Etkisi

## *The Effect of Grinding Additives on the Breakage Process of Talc in Stirred Ball Mill*

D. Katircioğlu Bayel

Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde

**ÖZET** Seramik, boya, renk maddesi ve kâğıt kaplama gibi birçok sanayinin gelişiminin ardından mikron altı boyuttaki ürünlere ihtiyaç son zamanlarda artmıştır. Bu çalışma, karıştırmalı bilyalı değirmende tane boyut dağılımını ve talkın mikron altı boyutta öğütülmesini etkileyen öğütmedeki katkı maddeleri ile ilgilidir. Öğütmedeki katkı maddeleri yaygın olarak, öğütme boyunca mineral tanelerinin viskozitesini azaltmak için kullanılmıştır.

Bu çalışmada, talk ( $d_{50}=6 \mu\text{m}$ ) yaş öğütülmesi üzerine laboratuvar ölçekli bilyalı değirmende (0,75 Litre) yüksek yoğunluğa sahip yttria stabiliteli zirkon ( $\text{ZrO}_2$ ) bilya (1 mm) tasarımıyla sistematik bir çalışma gerçekleştirilmiş ve talkın mikron altı boyuta öğütülmesinde, öğütmedeki katkı maddelerinin etkinliği (polikarboksilik asitin sodyum tuzu ve sodyum hegzametafosfat) ve miktarları (ağırlıkça %; 0-0,05-0,1-0,2-0,4-1,2 ve 2,4) araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, ürün tane boyutu ( $d_{50}$ ), kırılma oranı, enerji tüketimi (kWh/t) ve yüzey alanı ( $\text{m}^2/\text{gr}$ ) verileri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

**ABSTRACT** The need for submicron particles has recently increased in the wake of the development of many industries, such as ceramic, pigments, paints, pigments and paper coatings. This paper concerns grinding additives affecting the particle size distribution and submicron grinding of talc in stirred media mills. Grinding additives were widely used to reduce the viscosity of the mineral particles during grinding.

In this study, a systematic study by using high density yttria stabilized zirconia ( $\text{ZrO}_2$ ) grinding media (1 mm) on wet grinding of talc ( $d_{50}=6 \mu\text{m}$ ) powders to produce submicron particles was performed in a lab-scale (0.75 Liter) stirred ball mill and the effectiveness of grinding additives (sodium salt of polycarboxylic acid and sodium hexametaphosphate) and dosages (wt %; 0-0.05-0.1-0.2-0.4-1.2 and 2.4) for submicron grinding of talc were investigated. Experimental results were assessed based on the product particle size ( $d_{50}$ ), reduction ratio, the energy consumed (kWh/t) and the surface area ( $\text{m}^2/\text{gr}$ ).

## 1 GİRİŞ

### 1.1 Öğütme Yardımcılarının Etkisi

Gelişen teknoloji ile ince ve çok ince öğütmenin önemi gün geçtikçe daha da artmaktadır. Bununla birlikte enerji tüketimleri de artmakta ve dolayısıyla öğütme maliyetleri de artmaktadır. Çok fazla enerji tüketiminin olduğu öğütme işlemlerinde yapılacak küçük de olsa iyileşmeler, büyük ekonomik yararlar sağlayacaktır. Talk, kimyasal tepkisizlik, yumuşaklık, beyazlık, yüksek termal stabilite ve düşük elektrik iletkenliği nedeniyle kâğıt, kozmetik, boya, polimer, seramik, refrakter malzemeleri ve ilaç sanayi gibi birçok alanda geniş uygulama alanlarına sahiptir. Talk aynı zamanda kullanılan bütün dolgu ve kaplama mineralleri arasında en az aşındırıcı özelliğe sahiptir. Boyut küçültme işlemleri, öğütme ortamının fiziksel ve kimyasal şartlarından oldukça fazla etkilenmektedir. Etkili bir boyut küçültmede ve enerji tüketimini en aza indirmede öğütme yardımcıları (grinding aids, additives) kullanılabilir. Öğütme yardımcılarının kullanılmasıyla, istenilen ürün inceliğinde üretim miktarı arttırılabileceği gibi aynı üretim miktarında daha ince ürün de elde edilebilmektedir. Öğütme davranışı genelde öğütme prosesi boyunca uygulanan güce ve tüketilen enerji miktarına göre açıklanmaktadır (Choi ve diğ. 2007). Öğütme yardımcısı vb. kimyasalların kullanılması tanelerin topaklanmasını önlediği gibi enerji tüketiminde de azalmaya sebep olmaktadır. Enerji tüketiminde düşüşün sebebi ise daha iri tanelerin bilyalar arasına kolayca girmesi ve ince tanelerden oluşan tabakayla yastıklanma eğiliminden kaynaklanmaktadır (Choi ve diğ. 2010).

Bu çalışmanın amacı, karıştırmalı bilyalı değirmende talkın mikron altı boyuta öğütülmesinde öğütme yardımcılarının öğütme performansı üzerine etkilerini araştırmaktır.

## 2 MALZEME VE YÖNTEM

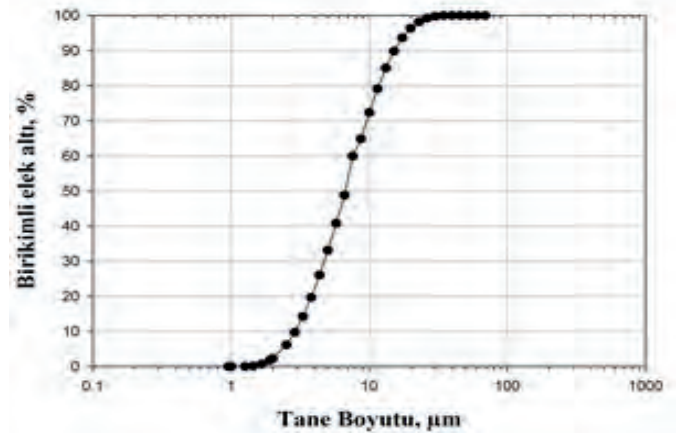
### 2.1 MALZEME

Deneyisel çalışmalarda Niğde bölgesinde faaliyet gösteren Mikron'S A.Ş firması tarafından üretimi yapılan talk örnekleri ( $d_{50}=6 \mu\text{m}$ ) kullanılmıştır.

Talk mineralinin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 1.1'de ve tane boyut dağılımı Şekil 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Deneyisel çalışmalarda kullanılan talk örneklerinin kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Kimyasal Bileşim,%	
SiO <sub>2</sub>	61
MgO	31
CaO	0,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5
Fiziksel Özellikler	
Besleme malı ortalama	6
Tane boyutu, $d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	
Yoğunluk, $\text{gr}/\text{cm}^3$	2,78
Sertlik, Mohs	1
Refraktif indeks	1,57



Şekil 1.1. Talk örneklerinin tane boyut dağılımı.



## 2.2 YÖNTEM

Bu çalışmada öğütme işlemleri Union Process (U.S.A.) tarafından üretilen Standart-01 model dikey pinli karıştırıcı değirmende gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, 8,04 cm çapında ve 12,3 cm yüksekliğinde alümina bir tank kullanılmıştır. Aşınmaları azaltmak için öğütme haznesi seramikten yapılmış ve ayrıca öğütme haznesini soğutmak için içinde soğutma suyu olan su ceketini ile donatılmıştır. Şaft uzunluğu 26,6 cm, her bir karıştırma kolunun uzunluğu 5,7 cm ve şaftın tank tabanından uzaklığı 0,635 cm'dir. Şaft 0,25 HP gücünde bir motora bağlı olup, şaftın dönme hızı 100-600 d/dk arasında değiştirilebilmektedir. Talkın mikron altı boyuta yaş öğütülmesinde, organik polimerik-anionik bir dispersant olan polikarboksilik asitin sodyum tuzu (PKASS) ve inorganik-anionik bir dispersant olan sodyum hegzametafosfat (SHMF) öğütme yardımcısı olarak kullanılarak yedi farklı dozajın (ağırlıkça %, 0-0,05-0,1-0,2-0,4-1,2 ve 2,4) etkisi araştırılmıştır. Deneylerde, 1 mm boyutlu yüksek yoğunluklu ( $6000 \text{ kg/m}^3$ ) ve dayanımı yüksek (kimyasal bileşimi: %93  $\text{ZrO}_2$ , %5  $\text{Y}_2\text{O}_3$  ve %2 diğerleri) yttria stabilizeli zirkonyum oksit bilyalar kullanılmıştır. Yapılan deneylerde, karıştırma hızı (600 d/dk), bilya doluluğu (%65), pulp yoğunluğu (%40) ve 120 dk öğütme süresi sabit tutulmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlar, ürün tane boyutu ( $d_{50}$ ), enerji tüketimi (kWh/t), kırılma oranı ve yüzey alanı ( $\text{m}^2/\text{gr}$ ) verileri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Spesifik yüzey alanı, kırma ve öğütme gibi boyut küçültme işlemleri sonucunda elde edilen bir ürünün belli ağırlığı ve hacmindeki yüzey miktarı ( $\text{cm}^2/\text{g}$  veya  $\text{m}^2/\text{g}$ ) olarak ifade edilir. Spesifik yüzey alanı aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmış ve Eşitlik (2.1)'de verilmiştir (Lecoq ve diğ. 1999).

$$S_w = 6 / [\rho_s \times d_{(3,2)}] \quad (2.1)$$

$S_w$  : Spesifik yüzey alanı ( $\text{m}^2/\text{gr}$ )  
 $\rho_s$  : Numunenin yoğunluğu ( $\text{t/m}^3$ )

$d_{(3,2)}$  : Yüzey- hacim çapı

Beslenen malzeme ve öğütme sonrasında elde edilen ürünün tane boyut dağılımının ağırlıkça %50 geçtiği boyut değeri tespit edilerek, Eşitlik 2.2 kullanılarak kırılma oranı belirlenir (Fuerstenau ve Abouzeid, 2002).

$$\text{Kırılma oranı} = F_{50} / P_{50} \quad (2.2)$$

$F_{50}$  : Beslemenin ortalama tane boyutu  
 $P_{50}$  : Ürünün ortalama tane boyutu

Tüketilen spesifik enerji miktarı hesabı aşağıda gösterildiği gibi şu şekilde hesaplanmış, Eşitlik (2.3)'de verilmiştir (Patel ve diğ. 2014).

$$E_m = (E - E_0) / m_p \quad (2.3)$$

$E_m$  : Spesifik enerji tüketimi (kWh/t)  
 $E$  : Öğütme süresi boyunca tüketilen enerji (kWh)  
 $E_0$  : Değirmen boş çalışırken tüketilen enerji (kWh)  
 $m_p$  : Numune miktarı (t)

## 2.3 KARAKTERİZASYON

Besleme ve farklı şartlarda gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen ürünlerin tane boyut analizi Lazer Difraktometre yöntemiyle yaş çalışan tane boyutu ölçüm cihazı (Malvern Mastersizer Hydro 2000 MU-Malvern Co., Ltd., UK) ile gerçekleştirilmiştir. Her öğütme deneyi sonunda, ürünler örnek bölme kurallarına göre azaltılmıştır, azaltılan iki ayrı örnek alınıp, her biri ayrı ayrı analize tabi tutulmuştur.

## 3 BULGULAR VE TARTIŞMA

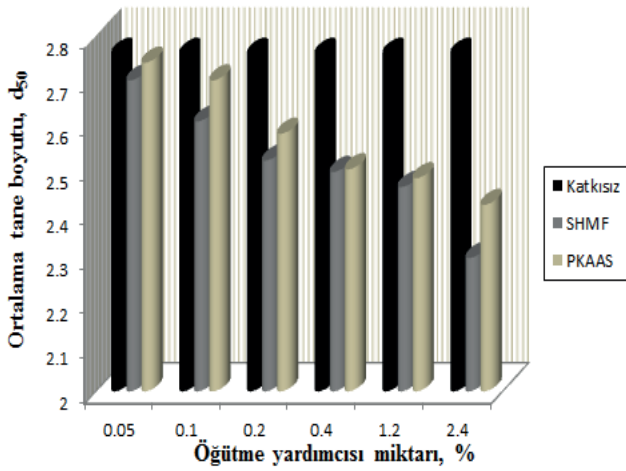
### 2.1 Öğütme Yardımcısı Cinsi ve Miktarının Ürün İnceliği ve Kalitesi Üzerindeki Etkileri

Talkın mikron altı boyuta öğütülmesinde, öğütmedeki katkı maddelerinin etkinliği (polikarboksilik asitin sodyum tuzu ve sodyum hegzametafosfat) ve miktarları

(ağırlıkça %; 0-0,05-0,1-0,2- 0,4-1,2 ve 2,4) araştırılmıştır.

Şekil 2.1’de aynı öğütme süresinde öğütme yardımcısı cinsi ve miktarının  $d_{50}$  boyutu üzerine etkisi gösterilmiştir. Öğütme deneylerine ait sonuçlar incelendiğinde; öğütme yardımcılarının dozajı arttıkça ortalama tane boyutu,  $d_{50}$ , dozaja bağlı azalmaktadır. Öğütme yardımcıları uygun dozajlarda kullanıldığında  $d_{50}$  boyutu kısa sürede azalmaktadır (Choi ve Choi, 2003).

% 2,4 oranında SHMF kullanılmasıyla 2,76  $\mu\text{m}$  olan tane boyutu 2,3  $\mu\text{m}$ ’ye, PKAAS kullanımı ile de 2,42  $\mu\text{m}$ ’ye düşmüştür. Özellikle SHMF’nin öğütme yardımcısı olarak kullanılmasıyla, talk için  $d_{50}$  boyutu açısından en fazla iyileşmenin sağlandığı gözükmektedir.

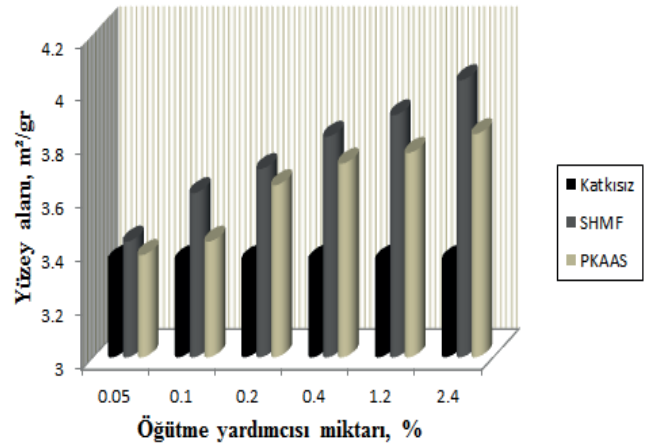


Şekil 2.1. Öğütme yardımcısı cinsi ve miktarının  $d_{50}$  boyutu üzerine etkisi.

Şekil 2.2’de aynı öğütme süresinde öğütme yardımcısı cinsi ve miktarının yüzey alanı üzerine etkisi gösterilmiştir. Deneylere ait sonuçlar incelendiğinde ise; öğütme yardımcısı kullanılmadan yapılan deneye nispeten, yüzey alanının bütün miktarlar için daha yüksek olduğu görülmektedir. Her iki öğütme yardımcısı için, miktar arttıkça yüzey alanının arttığı gözükmektedir. Bazı araştırmacılar tarafından (muskovit, kuvarsit, kireçtaşı, dolomit, kalsit ve alçı taşı)

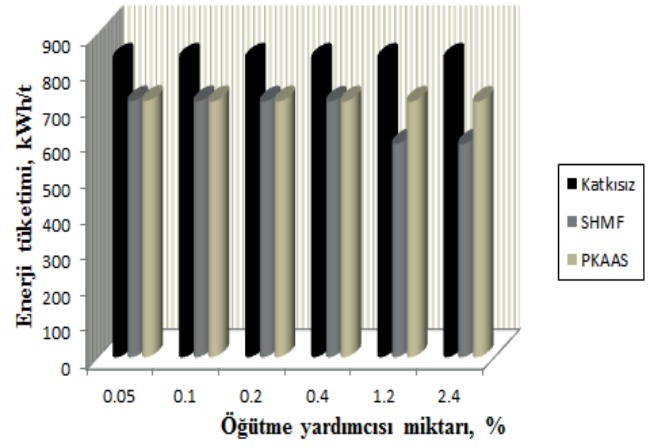
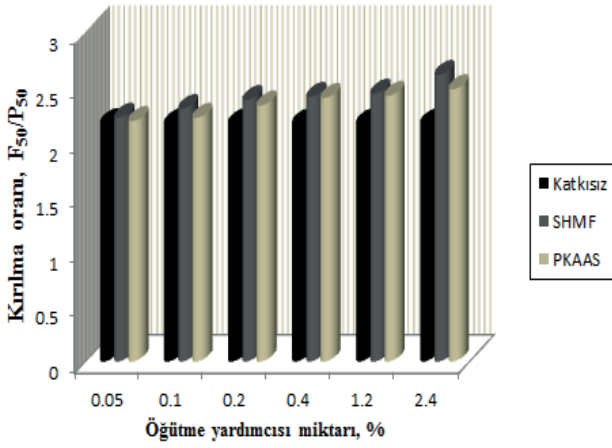
öğütülmesinde, öğütme yardımcılarının kullanılmasıyla yüzey alanının arttığı belirlenmiştir (Zhang ve Hu, 2014; Sivamohan ve Vachot, 1990; Zheng ve diğ. 1997; Wang ve Forsberg, 1995; He ve diğ. 2006; Choi ve diğ. 2009; Paramasivam ve Vedaraman, 1992; Garcia ve diğ. 2004; Choi ve Choi, 2003; Toraman, 2012).

Öğütme yardımcılarının gereken dozajdan fazla kullanılmasıyla yüzey alanlarında azalmalar gözlenilebilmektedir. Bu olaya ince tanelerin re-aglomerasyonu olarak bilinen “negatif öğütme” denilmektedir (Hasegawa ve diğ. 2001). %2,4 SHMF kullanılmasıyla talk için 3,36  $\text{m}^2/\text{gr}$  yüzey alanı değeri 4,03  $\text{m}^2/\text{gr}$ ’a ve PKAAS kullanımı ile de 3,83  $\text{m}^2/\text{gr}$  değerine artmıştır.



Şekil 2.2. Öğütme yardımcısı cinsi ve miktarının yüzey alanı üzerine etkisi.

Şekil 2.3’de aynı öğütme süresinde öğütme yardımcısı cinsi ve miktarının kırılma oranı üzerine etkisi gösterilmiştir. Deneylere ait sonuçlar incelendiğinde; %2,4 SHMF kullanılmasıyla talk için katkısız 2,17 olan kırılma oranı 2,61 ve PKAAS kullanımı ile de 2,48  $\text{m}^2/\text{gr}$  değerine artmıştır.



Şekil 2.3. Öğütme yardımcısı cinsi ve miktarının kırılma oranı üzerine etkisi.

Şekil 2.4. Öğütme yardımcısı cinsi ve miktarının enerji tüketimi üzerine etkisi.

Şekil 2.4'de aynı öğütme süresinde öğütme yardımcısı cinsi ve miktarının enerji tüketimi üzerine etkisi gösterilmiştir. Tuunila (1997); Wang ve Forssberg (1995); Zheng ve diğ. (1997); Choi ve diğ. (2010); Choi ve diğ. (2007) araştırmacılar da yaptıkları çalışmalarda uygun kimyasal ilavesiyle öğütme ve enerji verimliliğini artırmayı planlamışlardır. Yapılan başka bir çalışmada, karıştırmalı bilyalı değirmende inorganik mineraller üzerinde yapılan deneylerde öğütme yardımcısı miktarının enerji tüketimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Öğütme yardımcısı kullanılarak yapılan deneylerde, öğütme yardımcısı kullanılmadan yapılan deneylere göre enerji tüketiminde azalma tespit edilmiştir (Choi ve diğ. 2010).

Deneylere ait sonuçlar incelendiğinde; SHMF kullanılmasıyla talk için katkısız 829,38 kWh/t olan enerji tüketimi 592 kWh/t değerine düşmüştür. Böylece, 237,38 kWh/t enerji tasarrufu sağlanmıştır. PKAAS kullanımı ile enerji tüketimi 710 kWh/t değerine düşmüş ve 119,38 kWh/t enerji tasarrufu sağlanmıştır.

#### 4 SONUÇLAR

Karıştırmalı bilyalı değirmende (attritör) talkın mikron altı boyuta öğütülmesinde öğütme yardımcılarının öğütme performansı üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında ve sonunda elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

\*Öğütme deneylerinde SHMF ve PKAAS'ın öğütme yardımcısı olarak kullanılmasıyla öğütme performansı üzerinde önemli iyileşmelerin sağlandığı görülmüştür. Öğütme ortamına ilave edilen aniyonik dağıtıcı madde, tanelerin yüzeylerinin negatifliğini arttırmakta ve dağılmaya neden olarak öğütme verimini iyileştirmektedir.

\*Her iki numune içinde öğütme yardımcısı kullanılarak yapılan deneylerde, öğütme yardımcısız yapılan deneylere nazaran boyut, enerji, kırılma oranı ve yüzey alanı açısından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

\*Talk minerallerinin öğütülmesinde SHMF, PKAAS'a göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

\*Yaş öğütmede, pulp akıcılığı, tane boyutu inceldikçe azalmaktadır. Deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda, kimyasalların, ince malzemelerin topaklanmasını, sıvanmasını engelleyerek ve değirmen içinde taşınmasını kolaylaştırarak değirmen performansını arttırdığı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Choi, H.K. and Choi, W.S., 2003, Ultra-fine grinding mechanism of inorganic powders in a stirred ball mill, *Korean Journal of Materials Research*, 20 (3), 554-559.
- Choi, H.K., Lee, W., Lee, J., Chung, H. and Choi, W., 2007, Ultra-fine grinding of inorganic powders by stirred ball mill: Effect of process parameters on the particle size distribution of ground products and grinding energy efficiency, *Metals and Materials International*, 13 (4), 353–358.
- Choi, H.K., Lee, W. and Kim, S., 2009, Effect of grinding aids on the kinetics of fine grinding energy consumed of calcite powders by a stirred ball mill, *Adv. Powder Technol.*, 20 (4), 350–354.
- Choi, H.K., Lee, W., Kim, D.U., Kumar, S., Kim, S.S., Chung, H.S., Kim, J.H. and Ahn, Y.C., 2010, Effect of grinding aids on the grinding energy consumed during grinding of calcite in a stirred ball mill, *Minerals Engineering*, 23, 54-57.
- Fuerstenau, D.W. and Abouzeid, A.-Z.M., 2002, The energy efficiency of ball milling in comminution, *International Journal of Mineral Processing*, 67, 161-185.
- Garcia, F., Le Bolay, N., Trompette, J.L. and Frances, C., 2004, On fragmentation and agglomeration phenomena in an ultrafine wet grinding process: The role of polyelectrolyte additive, *Int. J. Miner. Process*, 74, 43-54.
- Hasegawa, M., Kimata, M., Shimane, M., Shoji, T. and Tsuruta, M., 2001, The effect of liquid additives on dry ultrafine grinding of quartz, *Powder Technology*, 114, 145-151.
- He, M., Wang, Y. and Forssberg, E., 2006, Parameter effects on wet ultrafine grinding of limestone through slurry rheology in a stirred media mill, *Powder Technology*, 161, 10-21.
- Lecoq, O., Guigon, P. and Pons, M.N., 1999, A grindability test to study the influence of material processing on impact behavior, *Powder Technology*, 105, 21–29.
- Paramasivam, R. and Vedaraman, R., 1992, Effect of Physical Properties of Liquid Additives on Dry Grinding, *Powder Technol.*, 70, 43-50.
- Patel, C.M., Chakraborty, M. and Murthy, Z.V.P., 2014, Enhancement of stirred media mill performance by a new mixed media grinding strategy, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20 (4), 2111–2118.
- Sivamohan, R. and Vachot, P., 1990, A comparative study of stirred and vibratory mills for the fine grinding of muscovite, wollastonite and kaolinite, *Powder Technology*, 61 (2), 119–129.
- Toraman, O.Y., 2012, Effect of chemical additive on stirred bead milling of calcite powder, *Powder Technology*, 221, 189-191.
- Tuunila, R., 1997, Ultrafine grinding of FGD and phosphogypsum with an attrition bead mill and a jet mill: optimisation and modelling of grinding and mill comparison, *Thesis (PhD)*, Lappeenranta University of Technology, Department of Chemical Technology.
- Wang, Y. and Forssberg, E., 1995, Dispersants in stirred ball mill grinding, *Kona, Powder and Particle Journal*, 13, 67-77.
- Zhang, X. and Hu, H., 2014, Preparation and analysis of polyacrylate grinding aid for grinding calcium carbonate (GCC) in an ultrafine wet grinding process, *Powder Technology*, 254, 470-479.
- Zheng, J., Harris, C.C. and Somasundaran, P., 1997, The effect of additives on stirred media milling of limestone, *Powder Technology*, 91 (3), 173–179.

# Çimentonun Konvansiyonel Bilyalı Değirmende Öğütülmesinde İşlem Parametrelerinin Etkisi

## *Effects of Operating Parameters on Cement Grinding in a Conventional Ball Mill*

S. Çayırılı

*Ömer Halisdemir Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Niğde*

**ÖZET** Bu çalışmada, çimentonun (CEM II) laboratuvar çaplı konvansiyonel bilyalı değirmende öğütülmesinde işlem parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Öğütme deneyleri kapsamında hız, bilya doluluk oranı, bilya dağılımı, malzeme doluluk oranı ve öğütme süresi parametreleri test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tane boyu dağılımı göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

Deney sonuçlarına göre; %80 (%kritik hız değirmen hızı),  $J=0,35$  bilya doluluk oranı, 5. grup bilya dağılımı (0-30-30-20-20 %),  $fc=0,125$  malzeme doluluk oranı, 60 dakika öğütme süresi optimum deney koşulları olarak belirlenmiştir. Ayrıca 60 dakika sonunda  $d_{50}$ 'si 50  $\mu\text{m}$  altında ürün elde edilebilmiştir.

**ABSTRACT** In this study, effect of operating parameters on cement (CEM II) grinding in a laboratory type conventional ball mill was investigated. The effects of various parameters such as operation speed (% of critical speed) ball filling ratio, interstitial filling ratio, ball size distribution, grinding time, were investigated. Test results were evaluated on the basis of product size (size distribution).

According to test results, optimum conditions were determined to be 80% of critical speed for operation speed,  $J=0.35$  for ball filling ratio,  $fc=0.125$  for powder filling ratio, 30% (40 mm), 30% (30 mm), 20% (20 mm) and 20% (10 mm) for ball size distribution, and 60 min. for grinding time. It was also obtained production of finer product with  $d_{50}$  of 50  $\mu\text{m}$  at 60 min. grinding time.

## 1 GİRİŞ

Dünyada üretilen elektrik enerjisinin %5'i öğütme işlemlerinde harcanmaktadır. Yalnızca çimento tesisleri ele alındığında dünya elektrik enerjisinin %2'si ve fosil yakıtların da %1,5'i gibi tüketilmektedir. Tipik bir çimento öğütme devresinde 1 ton çimento üretiminde ortalama 110 kW's elektrik enerjisi tüketilmektedir (Erdem, 2009).

Çimento tesislerinde ki öğütme devrelerinde yüksek basınçlı merdaneli değirmenler, dik değirmenler, Horomill ve düşey milli şoklu değirmenlerdeki

gelişmelere rağmen yaygın olarak kamaralı bilyalı değirmenler kullanılmaktadır (Doğruer, 2007). Çimento öğütmede verimliliği etkileyen pek çok işletme ve tasarım değişkeni bulunmaktadır.

Bunlar arasında bilyalı değirmenlerde bilya boyu ve tonajı, besleme boyut dağılımı, besleme hızı, malzeme sertliği ve tane boyu dağılımı, astar tipi, değirmen çapı, değirmen boyu (birinci ve ikinci kamara boyları), değirmen ve separatörde hava hızı, merdaneli değirmenlerde, uygulanan basınç, merdaneler arası açıklık, besleme tonajı, malzeme sertliği ve tane boyu dağılımı sayılabilir (Ergün ve ark., 2008).

Öğütme verimliliğini arttırmanın başarısı, enerji sarfiyatının azalışı ile ifade edilebilir. Çimento tesislerinde malzemenin uflanma özelliklerinin belirlenmesinden sonra öğütme işlemi için doğru ekipmanın seçilmesi, ekipman parametrelerinin amaca uygun şekilde belirlenmesi ve en uygun şekilde çalıştırılması gerekir (Deniz ve Sütçü, 2004). Bu nedenle, çimento tesislerinde ufalama verimindeki çok küçük bir kazancın sağlanması, enerji masrafının azalmasına etkisi olacaktır.

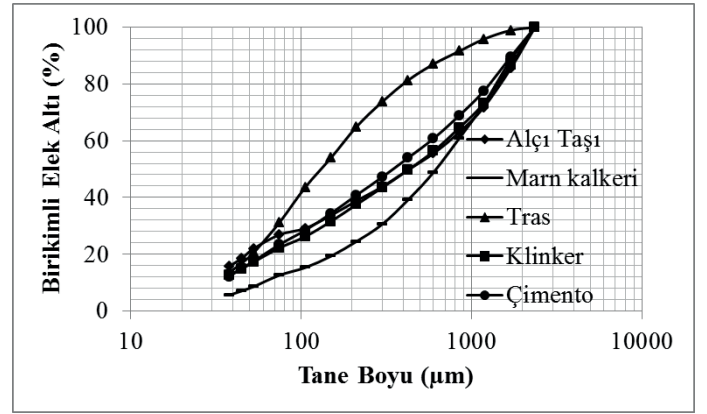
İstenen öğütme koşullarına uygun optimum çalışma parametrelerine belirlenmesine yönelik çalışmalar uzun zamandır süregelmekte ve günümüzde de hala devam etmektedir.

Bu çalışmada, çimentonun laboratuvar çaplı konvansiyonel bilyalı değirmende öğütülmesinde işlem parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Öğütme deneyleri kapsamında hız, bilya doluluk oranı, bilya dağılımı, malzeme doluluk oranı ve öğütme süresi parametreleri test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tane dağılımı göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

## 2 MATERYAL VE METOT

### 2.1 Materyal

Denyede kullanılan çimento hammaddesi (klinker=80kg, alçı taşı=25kg, marn kalkerı=25kg, tras=25kg) Niğde ilinde faaliyet gösteren Çimsa San. Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiştir. Laboratuvar çaplı değirmende öğütme deneylerinin gerçekleştirilebilmesi için klinker, marn kalkerı, alçı taşı ve tras ayrı ayrı çeneli kırıcıda kademeli olarak kırılarak -2,360 mm'nin altına indirilmiştir. Çimento hammaddeleri CEM II standartlarına (%80 klinker, %5 marn kalkerı, %5 alçıtaşı, %10 tras) ( $d_{\text{çimento}}=3,1 \text{ g/cm}^3$ ) göre karıştırılarak öğütme işlemlerine tabi tutulmuştur. Öğütme deneylerinde kullanılan hammaddelerin ayrı ayrı ve karıştırıldıktan sonraki elek analizleri Şekil 1 de verilmiştir.



Şekil 1. Çimento, klinker, marn kalkerı, alçı taşı ve trasın tane boyu analizleri

### 2.2 Metot

Öğütme deneyleri Şekil 2'de verilen 20x20 cm (iç çap) hazne boyutlarına sahip yatay bilyalı değirmende kuru olarak gerçekleştirilmiştir. Değirmenin gövdesi paslanmaz çelikten yapılmıştır. Öğütücü ortam olarak 45, 40, 30, 20, 10 mm çaplarındaki çelik bilyalar ( $8 \text{ g/cm}^3$ ) farklı oranlarda karışım halinde kullanılmıştır.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan bilyalı değirmen

Öğütme deneyleri kesikli şekilde yürütülmüştür. Her deney sonunda malzeme ve bilyalar öğütme haznesinden dışarıya çıkartılmış, elek yardımıyla öğünmüş malzeme ile bilyaların birbirinden ayrılması sağlanmıştır. Öğütme deneyleri sonrasında öğünmüş malzeme içerisinden temsili numune bölücü yardımıyla alınmıştır. Temsili örnekler standart olarak elek sarma cihazında 5 dak. süre ile elenerek tane boyu dağılımları tespit edilmiştir.

Öğütme deneyleri kapsamında hız, bilya doluluk oranı, bilya dağılımı, malzeme

doluluk oranı ve öğütme süresi parametreleri test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tane dağılımı göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Deneylerde test edilen koşullar Çizelge 1’de özetlenmiş kullanılan bilya dağılımları Şekil 3’de gösterilmiştir.

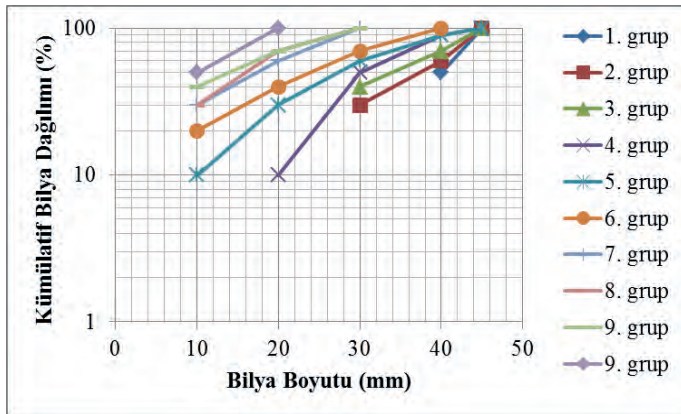
Çizelge 1. Öğütme deneylerinde test edilen parametreler

Parametreler	Değer
Hız (Kritik hız %)(Nc)*	56, 65, 70, 75, 80, 85
Bilya doluluk oranı (J)*	0,30, 0,35, 0,40, 0,45
Bilya dağılımı	9 grup dağılım test edilmiştir (Şekil 3)
Malzeme doluluk oranı (fc)*	0,10, 0,125, 0,15, 0,20
Öğütme süresi (dk.)	2, 5, 10, 20, 30, 60

$$Nc^* = 42,3 / \sqrt{(D-d)}$$

$$fc^* = (\text{Malzeme miktarı} / \text{Malzeme yoğunluğu}) / (\text{Değirmen Hacmi} * 0,6)$$

$$J^* = (\text{Bilya miktarı} / \text{Bilya yoğunluğu}) / (\text{Değirmen Hacmi} * 0,6)$$



Şekil 3. Deneylerde teste tabi tutulan bilyaların dağılımları

### 3 BULGULAR VE TARTIŞMA

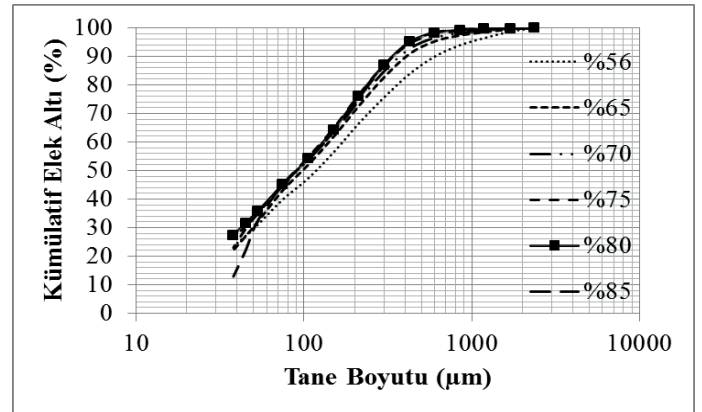
#### 3.1 Değirmen hızının etkisi

Öğütme proseslerin de değirmen hızı, kritik hızın belli bir oranı kullanılarak belirlenmektedir. Düşük oranlarda kaskat etki altında yüksek oranlarda ise katarak etki altında öğütme meydana gelmektedir. Öğütmede gerek enerji tüketimi gerekse istenilen tane iriliğine ulaşmada optimize edilmesi gereken en önemli parametreler arasında değirmen hızı da yer almaktadır (Öksüzöğlü, 2015). Değirmen hızı etkisinin incelendiği deneylerdeki çalışma şartları Çizelge 2’de verilmektedir. Elde edilen sonuçlar ise kümülatif elek altı eğrisi olarak Şekil 4’de gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde de değirmen hızı arttıkça daha ince tane boyutu elde edildiği gözlenmektedir. Kritik hızın %75’i ve sonraki hızlarda tane boyutlarının birbirlerine yaklaştığı gözlenmiştir. Bu nedenle, optimum değirmen hızı olarak kritik hızın %80’i olan 85 dev/dak. en ideal değer olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar aynı zamanda katarak etkinin, çimentonun ince boyutlara öğütülmesinde daha etkili olduğunu da göstermiştir.

Çizelge 2. Değirmen hızı parametresinin çalışma şartları

Parametreler	Değer
Hız (Kritik hız %)(Nc)	56, 65, 70, 75, 80, 85
Bilya doluluk oranı (J)	0,35
Bilya dağılımı	4. grup
Malzeme doluluk oranı (fc)	0,125
Öğütme süresi (dk.)	10



Şekil 4. Farklı değirmen hızlarına ait kümülatif elek altı eğrileri

#### 3.2 Bilya Doluluk Oranının Etkisi

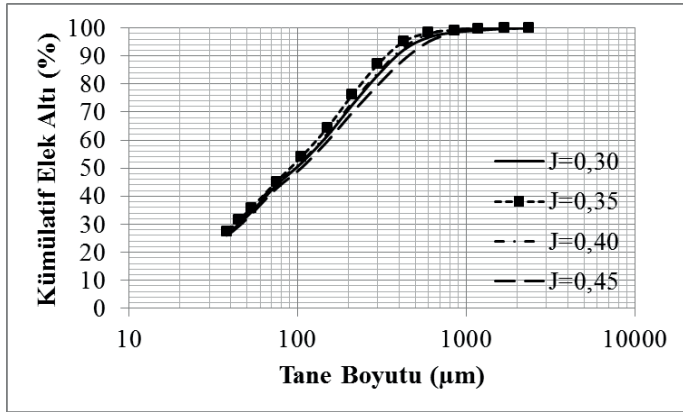
Endüstriyel öğütme işlemlerinde genel olarak konvansiyonel değirmen hacminin maksimum %45’ine kadar farklı oranlar kullanılarak öğütme yapılmaktadır. Bilya doluluk oranı özellikle endüstriyel minerallerin mikronize boyutlara öğütülmesinde büyük önem arz etmektedir. Bilya doluluk oranı etkisinin incelendiği deneylerdeki çalışma şartları Çizelge 3’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise kümülatif elek altı eğrisi olarak Şekil 5’de gösterilmiştir.

Şekil 6 incelendiğinde J=0,35 bilya doluluk oranında en ince tane dağılımı elde edilmiştir. Bilya doluluk oranı arttıkça

tüketilen enerjinin de artacağından optimum olarak bilya doluluk oranı  $J=0,35$  belirlenmiş, malzeme doluluk oranı deneylerine geçilmiştir.

Çizelge 3. Bilya dağılımı parametresinin çalışma şartları

Parametreler	Değer
Hız (Kritik hız %)(Nc)	%80
<b>Bilya doluluk oranı (J)</b>	<b>0,30,0,35, 0,40, 0,45</b>
Bilya dağılımı	4. grup
Malzeme doluluk oranı (fc)	0,125
Öğütme süresi (dk.)	10



Şekil 5. Farklı bilya doluluk oranlarına ait kümülatif elek altı eğrileri

### 3.3 Bilya Dağılımının Etkisi

Endüstriyel ölçekte öğütme işlemleri tamamı tek çaplı bilya ile yapılmamakta, farklı çaplarda ve oranlarda bilyaların karışımı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bunun öğütmeye etkisinin araştırılması özellikle mikronize öğütme tesislerinde önem arz etmektedir. Daha önceki yapılan çalışmalarda şu sonuçlara ulaşılmıştır;

► Bilya çapı büyüdükçe taneye uygulanacak darbe kuvveti artacağından iri tanelerin kırılmasında daha etkili öğütme sağlanacaktır.

► Bilya çapının küçülmesiyle bilyaların yüzey alanı ve bilya-tane karşılaşma olasılığı artmakta ve küçük tanelerin kolayca öğütülmesi sağlanmaktadır.

► Sert malzemelerin öğütülmesinde daha büyük çapta bilyaların kullanılması avantaj sağlamaktadır.

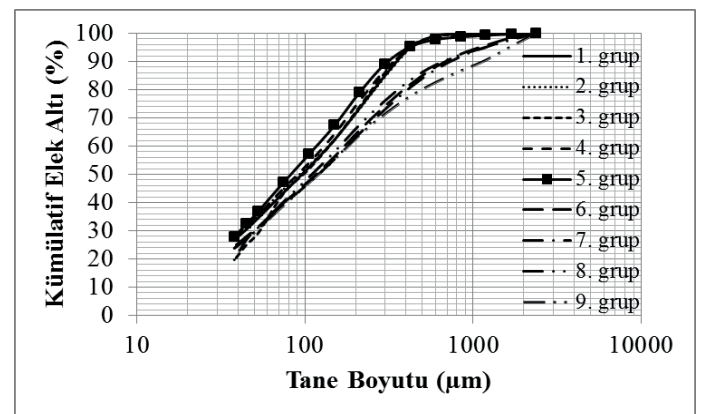
► Büyük çaplı bir değirmende küçük çaplı değirmende kullanılan bilya çapından daha küçük çapta bilyalar kullanılarak aynı etkinlikte öğütülebilmektedir (Erdem, 2009).

Bilya dağılımının etkisinin incelendiği deneylerdeki çalışma şartları Çizelge 4’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise kümülatif elek altı eğrisi olarak Şekil 6’de gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde de 5. grup bilya dağılımı (0-30-30-20-20) ile daha ince tane boyutu elde edildiği gözlenmiştir. 5. grubun altında test edilen gruplarda ise tane dağılımlarının daha iri çıktığı gözlenmiştir. Bunun nedeninin, numune içinde kullanılan klinkerin sertliğinin yüksek olması ve besleme içerisindeki iri boyutlu tanelerin ince bilyalar tarafından kavranamadığı düşünülmektedir. Optimum bilya dağılımı olarak 5. grup bilya dağılımı belirlenmiş, malzeme doluluk oranı deneylerine geçilmiştir.

Çizelge 4. Bilya dağılımı parametresinin çalışma şartları

Parametreler	Değer
Hız (Kritik hız %)(Nc)	%80
Bilya doluluk oranı (J)	0,35
<b>Bilya dağılımı</b>	<b>1. grup 40-30-30-0-0</b>
<b>(45-40-30-20-10 mm)</b>	<b>2. grup 30-30-40-0-0</b>
<b>(%)</b>	<b>3. grup 10-40-40-10-0</b>
	<b>4. grup 10-30-30-20-10</b>
	<b>5. grup 0-30-30-20-20</b>
	<b>6. grup 0-0-40-30-30</b>
	<b>7. grup 0-0-30-40-30</b>
	<b>8. grup 0-0-30-30-40</b>
	<b>9. grup 0-0-0-50-50</b>
Malzeme doluluk oranı (fc)	0,125
Öğütme süresi (dk.)	10



Şekil 6. Farklı bilya dağılımlarına ait kümülatif elek altı eğrileri

### 3.4 Malzeme Doluluk Oranının Etkisi

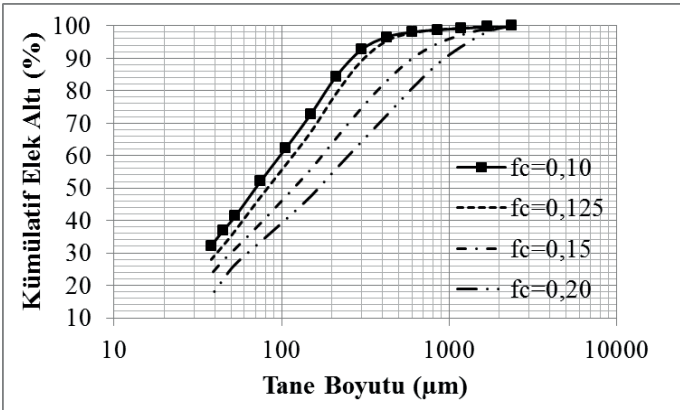
Çimento öğütme proseslerinde bilinmesi gereken ve saatlik kapasitenin



belirlenmesinde ayrı bir öneme sahip olan malzeme doluluk oranının optimize edilmesi gereklilik arz etmektedir (Öksüzoğlu, 2015). Malzeme doluluk oranı etkisinin incelendiği deneylerdeki çalışma şartları Çizelge 5’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise kümülatif elek altı eğrisi olarak Şekil 7’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğın de malzeme doluluk oranı arttıkça daha iri tane boyutu elde edildiği gözlenmektedir. Malzeme doluluk oranı deneylerinde kapasite düşünülerek optimum oran  $f_c=0,125$  olarak belirlenmiş ve süre deneylerine geçilmiştir.

Çizelge 5. Malzeme doluluk oranı parametresinin çalışma şartları

Parametreler	Değer
Hız (Kritik hız %)(Nc)	%80
Bilya doluluk oranı (J)	0,35
Bilya dağılımı	5. grup
Malzeme doluluk oranı ( $f_c$ )	0,10, 0,125, 0,15, 0,20
Öğütme süresi (dk.)	10



Şekil 7. Farklı malzeme doluluk oranlarına ait kümülatif elek altı eğrileri

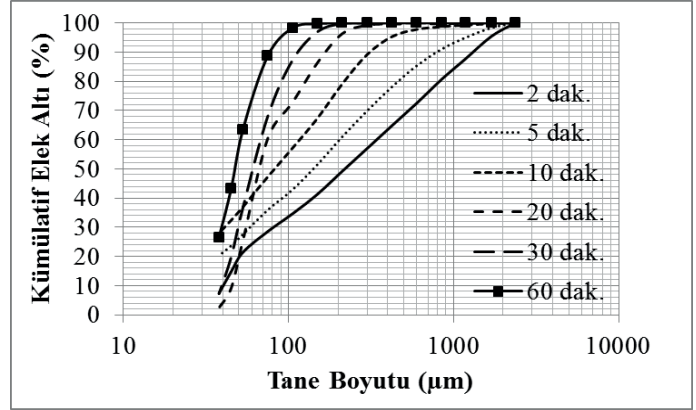
### 3.5 Öğütme Süresinin Etkisi

Bilyalı değirmenlerde öğütme süresi arttıkça ürün inceliği artarken tüketilen enerji de artmaktadır. Öğütme süresi etkisinin incelendiği deneylerdeki çalışma şartları Çizelge 6’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise kümülatif elek altı eğrisi olarak Şekil 8’de gösterilmiştir.

Öğütme süresi parametresinin incelendiği deneyler sonucunda süre arttıkça daha ince tane boyutu elde edildiği gözlenmektedir. 60 dakika sonunda  $d_{50}$ ’si 50 µm altında ürün elde edilebilmiştir.

Çizelge 6. Öğütme süresi parametresinin çalışma şartları

Parametreler	Değer
Hız (Kritik hız %)(Nc)	%80
Bilya doluluk oranı (J)	0,35
Bilya dağılımı	5. grup
Malzeme doluluk oranı ( $f_c$ )	0,125
Öğütme süresi (dk.)	2, 5, 10, 20, 30, 60



Şekil 8. Farklı öğütme sürelerine ait kümülatif elek altı eğrileri

## 4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, çimentonun laboratuvar çaplı konvansiyonel bilyalı değirmende öğütülmesinde işlem parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Öğütme deneyleri kapsamında hız, bilya doluluk oranı, bilya dağılımı, malzeme doluluk oranı ve öğütme süresi parametreleri test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tane boyu dağılımı göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

Deney sonuçlarına göre; %80 (%kritik hız değirmen hızı),  $J=0,35$  bilya doluluk oranı, 5. grup bilya dağılımı (0-30-30-20-20 %),  $f_c=0,125$  malzeme doluluk oranı, 60 dakika öğütme süresi optimum deney koşulları olarak belirlenmiştir. Ayrıca 60 dakika sonunda  $d_{50}$ ’si 50 µm altında ürün elde edilebilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Yazar deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin temin edilmesinde Çimsa San. Tic. Ltd. Şti.’ne sağlamış oldukları imkânlardan dolayı teşekkürlerini sunar.

## KAYNAKLAR

Erdem, S, 2009. Bilya Boyutunun Öğütme Model Parametreleri Üzerine Etkisinin Modellenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., s. 231.

- Doğruer, M., 2007. Farklı Kırılma Karakteristiği Gösteren Malzemelerin Birlikte Öğütüldükleri Koşuldaki Davranımlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., s. 67.
- Ergün, Ş.L., Benzer, A.H., Aydoğan, A.N., Dikmen, S., Erdem A.S., Genç, Ö., Özer, E.C., 2008. Çimento öğütme sınıflandırma işlemlerinde harcanan elektrik enerjisinin minimizasyonuna yönelik mühendislik aracının geliştirilmesi, Tubitak Projesi (104M369), s. 191.
- Deniz, V., Sütçü, N., 2004. Doğal amorf silika'nın kinetik öğütme parametrelerine hacimsel bilya ve malzeme doluluk oranlarının etkisi, 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, s. 130-137, İzmir.
- Öksüzöğlü, B., 2015. Niğde Bölgesi Jips Cevherinin İnce/Çok İnce Boyutlara Öğütülebilirliği ve Ürün Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., s. 77.

# Kaolenin Kırılma Parametrelerinde Bilya Türünün Etkisi

## *Effect of Ball Types on Breakage Parameters of Kaolinite*

S. Haner

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Gönen Meslek Yüksekokulu, Isparta*

B. Haner

*Bülent Ecevit Üniversitesi, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Zonguldak*

T. Tunay

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta*

**ÖZET** Bu çalışmada, bilya türünün kaolen örneğinin kinetik modele dayalı öğütme özellikleri ve model parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Bunun için öncelikle, 0.106-0.045 mm arası  $\sqrt{2}$  elek serisine göre 4 dar tane boyutu fraksiyonu hazırlanmıştır. Laboratuvar ölçekli değirmen ünitesinde, sulu öğütme ortamında 30 mm silpeps ve 30 mm alümina bilya ile  $f_c=0.072$  ile 0.096 malzeme yükünde ve %30 bilya yükünde farklı öğütme sürelerinde elde edilen tane boyutu dağılımlarından özgül kırılma hızı ve kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonlarına ait model parametreleri ( $S_i$ ,  $a_T$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$  ve  $\Phi_j$ ) bulunmuştur.

**ABSTRACT** In this study, the effects on grinding conditions based on a kinetic model and model parameters of the ball types were investigated on the kaolinite sample. For this purpose, firstly, four different mono-sized fractions were prepared between 0.106 and 0.045 mm formed by  $\sqrt{2}$  sieve series.  $S_i$  and  $B_{i,j}$  (breakage distribution function and related model parameter) equations were determined from the size distributions at different grinding period, and the model parameters ( $S_i$ ,  $a_T$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$  and  $\Phi_j$ ) 30 mm cylpebs and 30 mm alümina ball and wet grinding medium, two different filling ratios ( $f_c=0.072$ , 0.096) and 30% ball filling loads.

## 1 GİRİŞ

Son zamanlarda öğütme performansında öğütücü ortam değişkenlerinin rolü önem kazanmıştır. Öğütücü ortamın şekli, boyutu ve özgül ağırlığı gibi özellikleri öğütülen ürünün tane boyutu/dağılımı, öğütme maliyeti, enerji tüketimi, değirmen kapasitesini ve verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Farklı öğütücü ortamların öğütme verimi üzerindeki etkilerini içeren çeşitli araştırmalar mevcuttur (İpek vd. 2005, Kelsall vd. 1973, Koltka vd. 2012, Lameck ve Moys 2006, Umucu vd. 2014).

Değirmenlerde öğütücü ortam olarak kullanılan bilyalar; küresel, silindir, konik veya yarım koni şekilde olabilir. Konik ya da silindirik şekilli öğütücüler silpeps olarak isimlendirilir (Yıldız 1999). Cloos (1983), malzemenin ince tane boyutuna öğütülmesi

amacıyla sıkça kullanılan küresel bilyaya alternatif olarak silpepsi önermiştir. Bilya seçiminde ton başına öğütmede kullanılan bilya tüketimi, astar yapısı, bilyanın fiyatı ve temin edilebilirliği, cevherin yapısı önem taşımaktadır.

Seramik sağlık gereçleri sektöründe öğütme işlemi için genellikle bilyalı değirmenler kullanılmakta ve yaş öğütme tercih edilmektedir. Çanakçılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.'de 20 ton kuru malzeme alabilecek kapasiteli bilyalı değirmende öğütücü ortam olarak kullanılan flint taşının yerini şimdilerde alümina bilyaya bırakmıştır. Alümina bilya kullanılmasının amacı, bilya tüketimini ve bilyanın aşınmadan kaynaklanan kirliliği azaltmak ve daha etkin kırılma sağlayarak öğütme süresini düşürerek ton başına maliyeti azaltma gibi nedenlere bağlanabilir. Bu

işletmede, öğütme işleminden sonra bir kısmı serbest hale gelmiş olan demir içerikli mineralleri uzaklaştırmak amacıyla manyetik tutucu kullanılmaktadır.

Bu tesiste değirmenlere giren hammaddeler albit, silis kumu ve kaolendir. Bu çalışmada, değirmen fazı olarak tanımlanan kaolen numunesi üzerinde kinetik modele dayalı öğütme testleri yapılmıştır. Öğütme işleminde kullandıkları alümina bilyanın dışında manyetik tutucunun demir türü safsızlıkları uzaklaştırdığı düşünülerek silpepste kullanılmıştır.

## 2 TEORİ

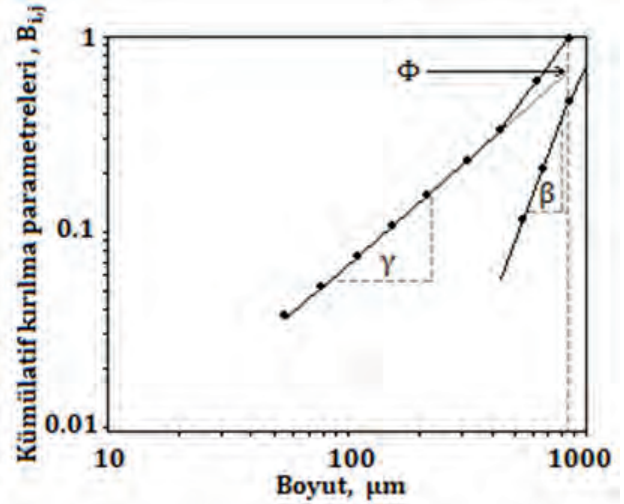
Bilyalı değirmenler için özgül kırılma hızı ve kümülatif kırılma dağılımı kavramlarını içeren boyut küçültme yaklaşımı kullanılmaktadır. Spesifik kırılma hızının bir matematiksel formülü Austin vd. (1984) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$S_i = a_T X_i^a \quad (1)$$

burada;  $X_i$ :  $i$  fraksiyonundaki üst boyutu (mm),  $a$ ; öğütme şartlarına ve malzemenin özelliklerine bağlı olan model parametrelerdir. Kırılan veya öğütülen malzemenin hangi boyut fraksiyonlarına nasıl dağıldığı kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonu olarak tanımlanmış ve aşağıda gösterilmiştir.

$$B_{i,j} = \sum_{i=n}^{j+1} b_{i,j} \quad (2)$$

Kısa öğütme süresi verilerinden elde edilen boyut dağılım eğrisini temsil eden bu fonksiyon da, söz konusu parametreler Austin vd. (1984) aşağıda verilen, BII yaklaşımından elde edilen  $B_{i,j}$ , değerlerine karşı nispi boyut grafiği çizildiğinde bulunur (Şek. 1).



Şekil 1. Kırılma dağılım fonksiyonunun gösterimi (Austin vd., 1984).

$$B_{i,j} = \Phi_j (X_{i-1}/X_j)^\gamma + (1 - \Phi_j) (X_{i-1}/X_j)^\beta \quad (3)$$

$$0 < \Phi_j < 1$$

Burada;  $\Phi_j$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  malzemelerin özelliklerine bağlı olan model parametrelerdir. Bu parametreler, farklı bilya oranları, değirmen çapları vb. için aynı olup farklı malzeme özelliklerinde farklıdır (Austin vd. 1984).

## 3 MALZEME VE METOD

DeneySEL çalışmada, Çanakçılar Seramik San. ve Tic. A.Ş.'nin seramik sağlık gereçleri yapımında kullanmakta olduğu kaolen (Şişecam, Düvertepe/Balıkesir) numunesi kullanılmıştır. Örneğe ait kimyasal analiz değeri Çizelge 1'de verilmiştir.

Saf bir kaolinit minerali teorik olarak %46.3 SiO<sub>2</sub>, %39.8 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %13.9 H<sub>2</sub>O (su) içerir. SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı 1.16 olmalıdır. Kaolen içindeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> haricindeki diğer bileşenlerin yüksek olması demek, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının idealden (%39.50'den) az olması demektir. Bu da mineralin içeriğinde bulunan kaolinit oranının daha düşük olması anlamına gelir (Murray 2007). Çizelge 1'deki kimyasal analiz sonuçlarına göre tüvenan kaolen örneği için SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı yaklaşık 3.14'tür. SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için teorik % miktarlarından giderek kaolen örneği için yapılan hesaplamada, numunenin yaklaşık %55 kaolen içerdiği hesaplanmıştır. Saf

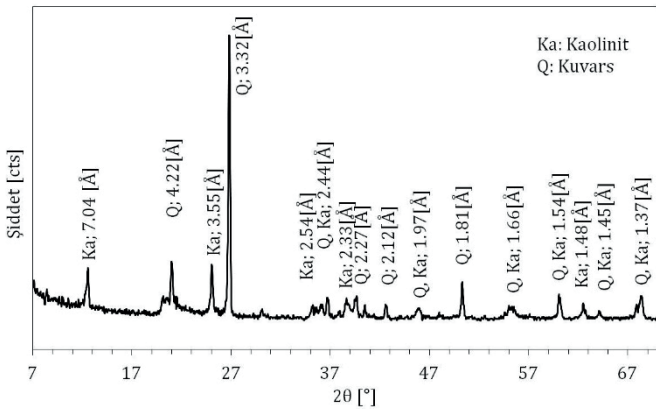
kaolen için ateş zayıtının %11 ile 13 arasında değiştiği literatürden bilinmektedir (Meunier 2005). Yapılan hesaplamada kaolen örneğinin yaklaşık %7.66 H<sub>2</sub>O içerdiği görülmüştür. Kalan %0.64'lük kızdırma kaybının organik maddelerden ve/veya çok az miktardaki alüminitten (%0.40 SO<sub>3</sub>, % 0.11 K<sub>2</sub>O) kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Çizelge 1'deki kimyasal

Çizelge 1. Kaolen örneğinin kimyasal analiz sonucu (ağırlıkça %).

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	*K.K.
68.05	21.70	0.01	0.60	0.42	0.26	0.15	0.11	0.40	8.30

\*K.K. Kızdırma Kaybı

Bond bilyalı değirmenin de yapılan deney sonucunda, Bond iş indeksi 10.20 kwh/ton olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. Kaolen numunesinin X-ışınları kırınımı diyagramı.

Kırılma hız fonksiyonlarını belirlemek için yapılan deneylerde örneklerin dört farklı besleme tane boyut fraksiyonu (-106+90, -90+75, -75+63, -63+45 µm) kullanılmıştır. Her fraksiyon iki ayrı bilya türünde (30 mm silpeps, 30 mm alümina), iki ayrı malzeme yükünde ( $f_c=0.072$ , 0.096) ve %30 bilya yükünde laboratuvar çaplı bir bilyalı değirmende sulu ortamda kesikli olarak öğütülmüştür. Her bir öğütme periyodu sonrası tüm değirmen şarjı boşaltılarak numune alınmıştır. Tane boyut dağılımı Malvern marka Hydro 2000G model cihaz kullanılarak ölçülmüştür. Kullanılan bilyalı değirmen karakteristikleri ve deney koşulları Çizelge 2'de verilmiştir. Deneylerde bilyalı

analizde görülen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%1.02) hematit ve/veya limonitten kaynaklanmaktadır.

Şekil 2'deki XRD analizinde kayacın ana olarak kuvars [ICDD (01-083-2466)] ve kaolinit [ICDD (00-029-1488)] minerallerinden oluştuğu görülmektedir.

Standart Bond değirmeninde kullanılmak üzere kaolen için -3.35 mm tane iriliğine sahip numune elde edilmiştir.

değirmenin dönüş hızı, değirmenin kritik hız değerinin %75'i alınmıştır.

## 4 BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 Özgül Kırılma Hız Fonksiyonlarının Belirlenmesi

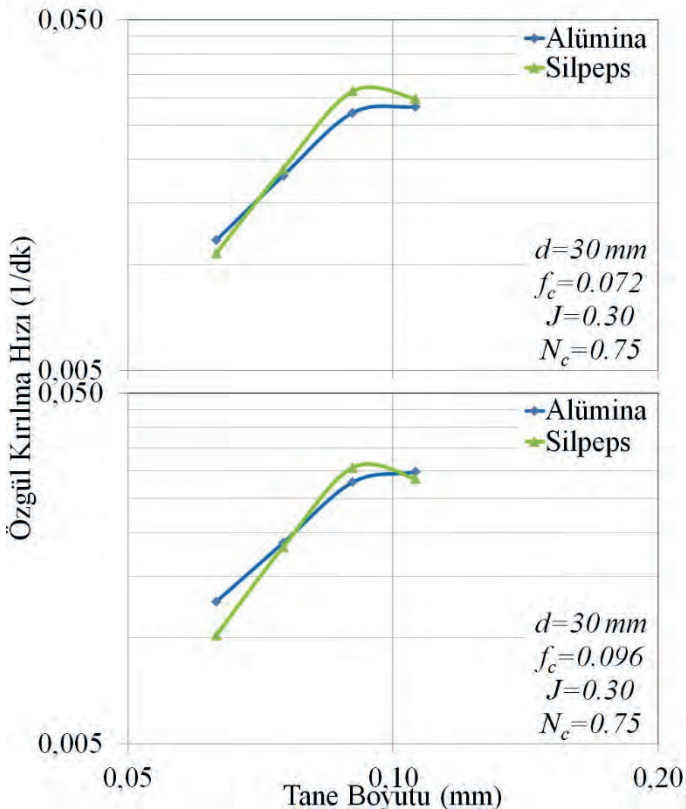
Her bir tane boyut fraksiyonu için özgül kırılma hızları ( $S_i$ ) birinci derece kırılma hız fonksiyonu grafiklerinden hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Bilyalı değirmen karakteristikleri ve deney koşulları

Değirmen	İç çap, mm	150	
	İç uzunluk, mm	150	
	Hacim, cm <sup>3</sup>	2650.72	
	Çalışma ( $N_c=\%75$ ), d/d	92	
Bilya	Malzeme	Silpeps	Alümina
	Boyut, mm	30	
	Ortalama bilya ağırlığı, g	166.85	71.99
	Özgül ağırlık, g/cm <sup>3</sup>	6.75	3.70
	Hacim doluluğu, % $J$	30	
Malzeme	Örnek	Kaolen	
	Özgül ağırlık, g/cm <sup>3</sup>	2.53	
	Malzeme yükü, % $f_c$	0.072, 0.096	
	$f_c$ 'ye göre boşluk doldurma oranı, % $U$	0.60, 0.80	

Değirmen çalışma koşullarından,  $f_c=0.072$ , 0.096 malzeme doluluk oranlarında ve  $J=0.30$  bilya doluluk oranında belirlenen  $S_i$  değerlerine karşı tane boyut fraksiyonu grafiği çizilmiştir (Şek. 3). Bu grafiğin doğrusal kısmından hesaplanan  $a_T$  değerleri Çizelge 3 ve 4’de verilmiştir.

Şekil 3’de, iki malzeme yükünde kırılma hızlarının belirli bir tane boyutuna kadar arttığı ve bir maksimum değere ulaştıktan sonra azalmaya başladığı görülmektedir. 30 mm silpeps ve alümina bilya ile sulu ortamda gerçekleştirilen deneylerde, kırılma hızları yaklaşık 90  $\mu\text{m}$  tane boyutunda maksimum değere ulaşmış ve sonra azalmaya başlamıştır. Pülpün viskozitesi, çok düşük veya yüksek olduğunda öğütme verimliliği azalmaktadır. Burada, pülpün viskozitesini tane boyutu etkilemektedir. Tane boyutu irileştikçe, pülpün viskozitesi azalmış ve şarj içerisindeki enerji iletiminin ve öğütme bölgesindeki tanelerin zayıf konumda kalmasına neden olarak değirmenin etkinliği azalmıştır (Özkan ve Yekeler 2001). Malzeme doluluk oranlarına göre değişik dar besleme tane boyut fraksiyonları için birinci derece kırılma kinetiğine uyduğu görülmüştür.



Şekil 3. Özgül kırılma hızı eğrileri.

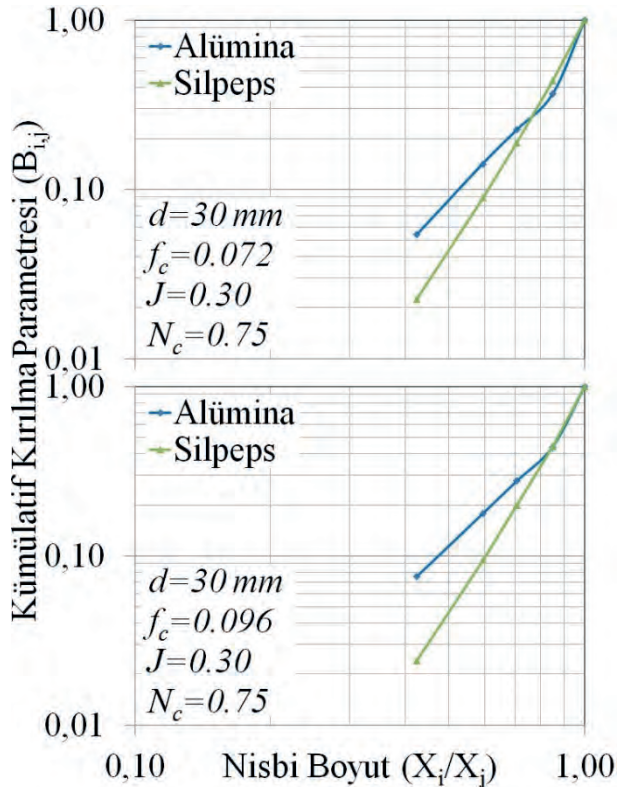
Şekil 3’de  $f_c=0.072$  ve 0.096 malzeme doldurma oranları için silpeps ile daha etkin kırılma gerçekleştiği görülmektedir.

#### 4.2 Kümülatif Kırılma Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Kümülatif kırılma fonksiyonu ( $B_{i,j}$ ) değerleri, en kısa öğütme sürelerinden elde edilmiş ve verilerin normalize olduğu yani boyuttan bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen  $B_{i,j}$  değerlerine karşılık nispi boyut ( $X_i/X_j$ ) grafikleri Şekil 4’de verilmiştir.

$B_{i,j}$  değerlerine karşılık nispi boyut ( $X_i/X_j$ ) grafiklerinden hesaplanan  $\phi$  ve  $\gamma$  model parametre değerleri Çizelge 3 ve 4’de verilmiştir.

$a_T$  değerinin büyük olması, daha etkin bir kırılmanın olacağı ve orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indirgeneceği anlamına gelmektedir.  $\Phi_j$  değerinin artması, en üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırılacağını ifade etmektedir.  $\gamma$  değerinin büyük olması, ince malzeme miktarının az olduğunu gösterir.



Şekil 4. Kümülatif kırılma dağılım fonksiyonları

Çizelge 3 ve 4’de silpeps bilyanın malzemenin kırılmasında daha etkin olduğu

görülmektedir. Ancak alümina bilya ile daha fazla ince malzeme elde edilmiştir.

Çizelge 3.  $f_c=0.072$  malzeme yükü için model parametreleri

Bilya	$a_T$	$\phi_i$	$\gamma$
Alümina	2.00	0.602	2.811
Silpeps	2.52	0.785	4.151

Çizelge 4.  $f_c=0.096$  malzeme yükü için model parametreleri

Bilya	$a_T$	$\phi_i$	$\gamma$
Alümina	2.07	0.669	2.552
Silpeps	2.68	0.818	4.124

## 5 SONUÇLAR

Kaolen örneği için, 30 mm boyutundaki silpeps ve alümina bilya ile yapılan kinetik modele dayalı öğütme çalışmalarını kıyaslandığında; aynı bilya boyutu ve öğütme şartlarında, silpeps bilyanın malzemenin kırılmasında daha etkin olduğu sonucu çıkarılmıştır. Literatürde de bu durumu destekleyen çalışmalar mevcuttur (İpek 2006, Bolin ve Haiyan 2011).

Silpepslerin, alümina bilyalara göre önemli bir avantajı olarak, küresel alümina bilyalar birbirleriyle tek noktadan temas sağlarken, silpepslerin yüzeysel, çizgisel ve nokta teması sağlamaları söylenebilir (Yılmaz 2004).

Çalışmalarda kullanılan silpeplerin alümina bilyalara göre geometrik özellikleri yanında daha başka avantajları da vardır. Öğütmede öğütücü ortamın birim hacme uyguladığı ağırlık değirmenlerde kapasite ve verimliliği etkileyen önemli bir faktördür. Çizelge 2 incelendiğinde, silpeps bilyanın özgül ağırlığının, alümina bilyadan yaklaşık 1.82 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bu da malzemenin kırılma hızını arttıran bir durumdur. Von Seebach (1969), kuru öğütme koşullarında çimento klinkeri üzerinde yaptığı çalışmalarda bilya yoğunluğu ile kırılma hızı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu bulmuştur. Değirmenin çektiği güç de bilya yoğunluğu ile doğrudan orantılıdır. Yoğunluğu düşük bilyalardan oluşan öğütücü ortam ile gerçekleştirilen

öğütme koşullarında değirmenin çektiği güç düşmekte ve kapasite azalmaktadır. Silpepslerin öğütülen malzeme ile maksimum teması sağlayan, alümina bilyaya göre büyük yüzey alanına sahip olması ve cevher tanelerini kırabilmek için gerekli enerjiyi yaratabilecek ağırlığa sahip olması öğütme ortamı için yüksek performans kriterlerini yerine getirmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma doktora tezimin bir kısmını içermektedir.

## KAYNAKLAR

- Austin, L.G., Klimpel, R.R., Luckie, P.T., 1984. Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling. AIME, 561, New York.
- Bolin, Z., Haiyan, Q., 2011. Effect of Grinding Media Shape on Breakage Parameters of Cement Clinkers. China Powder Science and Technology, 17(3), 44-46,50.
- Cloos, U., 1983. Cylpebs: an Alternative to Balls of Grinding Media. World Mining, 10/83, 59.
- İpek, H., 2006. The Effects of Grinding Media Shape on Breakage Rate. Minerals Engineering, 19, 91-93.
- İpek, H., Uçbaş, Y., Yekeler, M., Hoşten, Ç., 2005. Dry Grinding Kinetics of Binary Mixtures of Ceramic Raw Materials by Bond Milling. Ceramics International, 31, 1065-1071.
- Kelsall, D.F., Stewart, P.S.B., Weller, K.R., 1973. Continuous Grinding in a Small Wet Ball Mill Part V: A Study of the Influence of Media Shape. PowderTechnology, 8, 77-83.
- Koltka, S., Can, M.F., Sabah, E., Majdan, M., 2012. The Effect of Grinding Media Type in Vibrating Mill Dry Grinding on the Rheological Properties of Sepiolite. XIII<sup>th</sup> International Mineral Processing Symposium, 10-12 Ekim, Bodrum, 667-674.
- Lameck, N.S., Moys, M.H., 2006. Effects of Media Shape on Milling Kinetics. Minerals Engineering, 19, 1377-1379.
- Meunier, A., 2005. Clays. Springer, 470p, Berlin.
- Murray, H.H., 2007. Applied Clay Mineralogy. Elsevier, 179p, UK.

- Özkan, A., Yekeler, M., 2001. Palp Reolojisinin Öğütme İşlemine Etkisi ve Kontrolü. Madencilik, 40(1), 40-47.
- Umucu, Y., Altınığne, M.Y., Deniz, V., 2014. The Effects of Ball Types on Breakage Parameters of Barite. Journal of the Polish Mineral Engineering Society, 15, 113-117.
- Von Seebach, H.M., 1969. Effect of Vapors of Organic Liquids in the Comminution of Cement Clinker in Tube Mills. Research Inst. Cement Industry, Dusseldorf, 1969.
- Yıldız, N., 1999. Öğütme: Teorisi, Uygulaması Değirmenler ve Sınıflandırıcılar. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, 217s, Ankara.
- Yılmaz, A., 2004. Öğütme Verimliliğini Artırıcı Bir Ortam: Silpepsler. Teknoloji, 67, 48-49.



# Yıkama Suyu Miktarının Kabaran Yataklı Ayırıcı Performansı Üzerine Etkisi

## *Effect of Teeter Water Rate on Performance of a Teetered Bed Separator*

Ö. Özcan, Ş. L. Ergün

*Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara*

**ÖZET** Bu çalışmada, kabaran yataklı ayırıcının (KYA) önemli işletme değişkenleri arasında yer alan yıkama suyu miktarının performans üzerine etkisi incelenmiştir. Test numunesi olarak farklı yoğunluk değerlerine sahip kuvars kumu, manyetit konsantresi ve kromit konsantresi kullanılmıştır. KYA'dan alınan numunelerin ölçülen tane boyu dağılımları ve kuru katı değerleri kullanılarak madde denklığı çalışmaları tamamlanmıştır. Madde denklığı sonuçları kullanılarak her test numunesi ve her koşul için performans eğrileri çizilmiştir. Çizilen performans eğrileri üzerinden yıkama suyu miktarının performans parametreleri ile olan ilişkileri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, alt akıma giden katı miktarı, alt akıma kaçak, kesme boyu ve ayırım verimsizliği değerleri yıkama suyu miktarı ile ilişkilidir. Kesme boyu irileştikçe KYA daha verimli çalışmaktadır. İri kesme boylarında çalışıldığında alt akıma kaçak miktarı da azalmaktadır. Cevher yoğunluğu kesme boyu üzerinde etkili önemli bir parametredir. Yoğunluğu yüksek malzemelerde aynı kesme boyunu yakalamak için daha yüksek hidrolik taşıma kuvveti gerekmektedir.

**ABSTRACT** In this study the effect of teeter water rate on the performance of teetered bed separator (TBS) was investigated. Silica sand, magnetite concentrate and chromite concentrate were used as different density test materials. Mass balance studies were performed by using measured particle size distributions and solid weights of samples. Performance curves of each sample for each test were generated by using mass balance results. By using performance curves the effect of teeter water rate on the performance parameters were determined.

According to obtained results, the amount of underflow material, bypass to underflow, separation cut size and imperfection of separation are related to teeter water rate. Increasing separation cut size is increases separation efficiency and decreases bypass to underflow. Mineral density is an important parameter on the separation cut size. Denser materials requires a higher upward hydraulic transport force to affect the same separation cut size.

# 1 GİRİŞ

Hidrolik sınıflandırıcılar cevher hazırlama endüstrisinde taneleri boyut fraksiyonlarına göre sınıflandırmada, tane boyu dağılımının uygun olması durumunda ise mineraller arasındaki yoğunluk farkına göre zenginleştirmede tarihsel süreç boyunca kullanılmıştır.

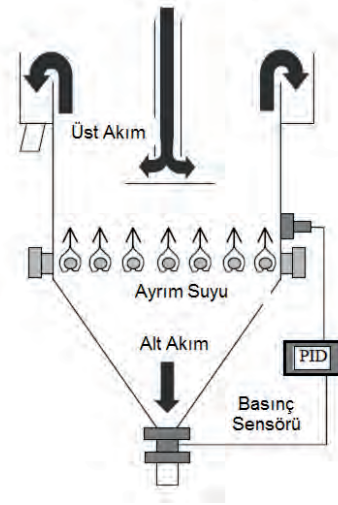
Günümüzde özellikle ince boydaki sınıflandırma işlemleri büyük ölçüde hidrosiklonlar ile yapılmaktadır. Ancak hidrosiklonların yüksek verimsizlik ve yüksek kaçak değerlerinde çalışması bu alanda yeni sınıflandırıcıların kullanılmasının önünü açmaktadır [1]. KYA'lar özellikle dünyanın belirli bölgelerinde kömür yıkama uygulamalarında kullanılmaktadır. Ancak literatürde yapılan sınırlı sayıdaki çalışmalar, kromit tesisi atıklarından kromit kazanımı [2], kuvars kumu yıkama ve sınıflandırma [3], ince boydaki demir ve mangan cevherlerinden alümina ve silis uzaklaştırılması [4], demir atıklarından demir kazanımı [5], fosfat cevherinin zenginleştirilmesi [6], demir, kromit ve mangan cevherlerinin, zenginleştirilmesi gibi örnekleri vermektedir. Bu örnekler KYA'ların cevher sınıflandırma ve zenginleştirme de kullanım olanağı olduğunu göstermektedir.

## 1.1 Kabaran Yataklı Ayırıcılar (KYA)

Hidrolik sınıflandırıcılar grubunda yer alan KYA'lar temel olarak yukarı yönde verilen ayırım suyuna karşılık besleme malzemesinin yerçekimi etkisi ve engelli çökme koşulları içerisinde çökmediği ve ayırma maruz bırakıldığı ayırıcılardır. Bu koşullar altında, çökme hızı yukarı yönlü su hızına yakın olan taneler ayırıcı içerisinde birikerek bir ağır ortam gibi davranan akışkan bir malzeme yatağı oluşturmaktadır. Akışkan yatak içerisinde biriken ve ağır ortam gibi davranan bu malzeme yatağının varlığı nedeniyle, ayırıcıya beslenen tanelerin çökme hızları da düşmektedir. Sistem içerisinde biriken ve nispeten malzeme yatağının üst bölgelerinde kalan yoğunluğu düşük/ince taneler yıkama suyunun hidrolik

taşıma kuvveti ile üst akıma sevk edilirken, malzeme yatağının alt bölgelerinde kalan yoğunluğu yüksek/iri taneler ise hem yatak ağırlığının hem de yerçekiminin etkisi altında alt akımdan alınır [7].

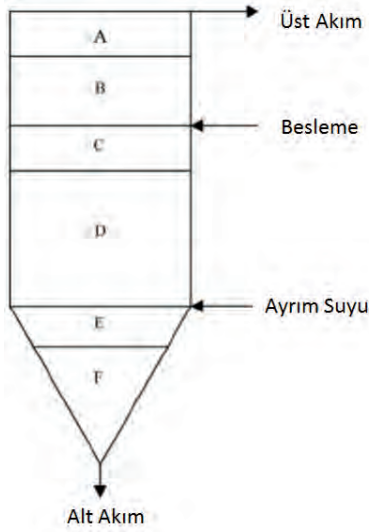
Yukarı yönlü su ayırıcıya konik kısmın hemen üzerine yerleştirilmiş olan dağıtım plakaları ile verilmektedir. Yukarı yönlü su hızı yıkama suyu miktarının ve kolon kesit alanının bir fonksiyonudur. Yukarı yönlü su akışı ayırıcı içerisindeki katı tanelerin aşağı yönlü çökme hızına karşıdır. Dolayısıyla yukarı yönlü yıkama suyu hızı kesme boyunu belirleyen önemli bir değişkendir [8]. Kolon içerisindeki akışkan yatak yüksekliği bir basınç sensörü tarafından ölçülmektedir. İstenilen yatak yüksekliğine ulaşıldığında otomatik bir PID denetleyicisi yardımıyla alt akım ucunda bulunan hava kontrollü pinç vana açılıp kapatılarak fazla katı alt akımdan sistemi terk eder ve bu sayede yatak yüksekliği sabit kalır. Alt akımdan alınan malzeme yüksek katı içeriğine sahiptir (Şekil 1).



Şekil 1. Kabaran yataklı ayırıcının şematik görünümü

Kabaran yataklı ayırıcılar altı ana bölgeye ayrılmaktadır (Şekil 2). Bu bölgeler sırasıyla, üst akım toplanma bölgesi (A), üst orta bölge (B), besleme bölgesi (C), alt orta bölge (D), çökme bölgesi (E) ve alt akım toplanma bölgesi olarak verilmektedir (F) [9]. Besleme bölgesinde türbülans kaynaklı ekstenel bir karışma mevcuttur. Alt orta bölümde ise akışkan yatak oluşumu gözlenmektedir. Bu bölgede tanelerin yoğunluk/boyut farkına

göre ayrılmasını sağlayan bir ağır ortam kendiliğinden oluşmaktadır. Alt orta bölümün hemen altından sisteme verilen yıkama suyu yukarı yönlü hareket etmektedir. İnce ve yoğunluğu düşük taneler oluşan ağır ortamı geçemeyerek üst akıma yönelirler. İri ve yoğunluğu yüksek taneler ise ağır ortam içerisinden çökerek alt konik kısımda yoğun bir yatak oluştururlar. Oluşan bu yoğun yatağın içerisine uygulanan yıkama suyu sayesinde yatak kısmi olarak açılır ve hafif taneler üst akıma doğru yıkanır.



Şekil 2. Kabaran yataklı ayırıcı üzerindeki ayırım bölgeleri

Bu çalışma kapsamında, yeni nesil hidrolik sınıflandırıcılardan olan kabaran yataklı ayırıcının (KYA), farklı yoğunluk ve tane boyu dağılımlarına sahip cevherler için sınıflandırma davranımlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda KYA'nın temel işletim değişkenleri arasında yer alan yıkama suyu miktarı ile performans arasındaki ilişkiler belirlenmiştir.

## 2 MALZEME KARAKTERİZASYONU

Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan kuvars kumu, manyetit konsantrisi ve kromit konsantrisinin tane boyu dağılımları en iri boydan 38 mikrona kadar yaş elek analizi yöntemi ile, yoğunlukları ise piknometre yöntemi ile belirlenmiştir. belirlenmiştir. Numunelere ait tane boyu dağılımları ve yoğunluklar Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1 Test numunelerine ait tane boyu dağılımları

Tane Boyu Fraksiyonu ( $\mu\text{m}$ )	Birikimli (%) Elekalıtı		
	Kuvars	Manyetit	Kromit
-1180+850	100.00	100.00	100.00
-850+600	99.98	99.08	100.00
-600+425	99.11	85.27	100.00
-425+300	98.90	67.91	100.00
-300+212	84.73	49.50	86.16
-212+150	54.43	34.18	71.87
-150+106	25.36	20.11	55.46
-106+75	11.00	8.35	39.17
-75+53	5.52	2.34	24.73
-53+38	2.72	0.55	13.96
-38	1.00	0.10	7.10
$d_{80}$	0.286	0.539	0.262
Yoğunluk ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.64	4.93	3.77

Çizelge 1'e göre kromit en ince boyut dağılımına manyetit ise en iri boyut dağılımına sahiptir. Malzemenin %80'inin geçtiği elek açıklığını ifade eden  $d_{80}$  değerleri kuvars, manyetit ve kromit için sırasıyla 0.286 mm, 0.539 mm ve 0.262 mm'dir. Kromit ve kuvarın  $d_{80}$  değerleri nispeten daha yakındır. Yoğunluğu en yüksek numune manyetit, en düşük numune ise kuvardır.

## 3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

Bu bölümde kuvars kumu, manyetit konsantrisi ve kromit konsantrisi ile yapılan sınıflandırma deneyleri ve deneysel sonuçlar verilmektedir. Tüm deneyler boyunca yıkama suyu miktarının sınıflandırma performansı üzerine net etkisini görmek hedeflenmiştir. Bu nedenle KYA performansı üzerinde etkili olan diğer tüm değişkenler sabit tutulmuştur. Tüm testler boyunca sabit tutulan değişkenler Çizelge 2'de deneysel çalışmalarda kullanılan numuneler ve deney koşulları ise Çizelge 3'te verilmektedir.

Çizelge 2 KYA işletme değişkenleri ve değerleri

İşletme Değişkeni	Değeri
Besleme Hızı (gr/dk.)	400
Basınç Set Değeri	160
Besleme Katsısı (%)	50

Çizelge 3 KYA testlerinde kullanılan numuneler ve deney koşulları

Test No.	Test Malzemesi	Yıkama Suyu (l/dk.)
1	Kuvars	3
2	Kuvars	5
3	Kuvars	7
4	Manyetit	6
5	Manyetit	8
6	Manyetit	10
7	Kromit	6
8	Kromit	8
9	Kromit	10

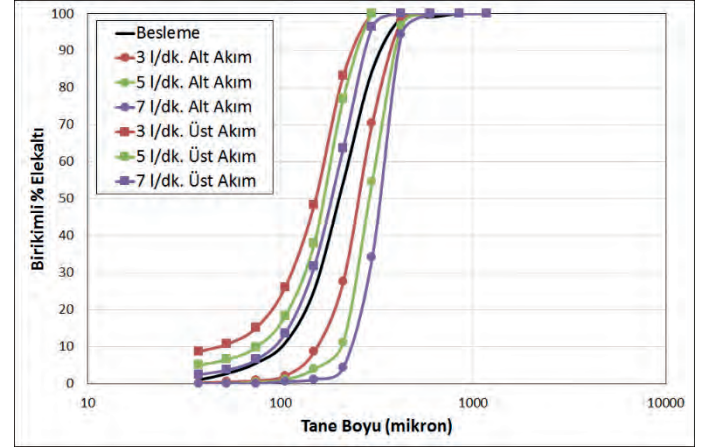
Tüm testler Çizelge 2 ve Çizelge 3'te verilen koşullarda gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla öncelikle her bir test için istenilen yıkama suyu miktarı ayarlanmıştır. Ardından test malzemesi ayırıcıya beslenerek istenilen basınç değerine ulaşana sistem açık devre çalıştırılmıştır. İstenilen basınç değerinin elde edilmesinin ardından sistem 20 dakika daha çalıştırılarak kararlı duruma gelmesi sağlanmıştır. Sistemin kararlı duruma gelmesinin ardından eş zamanlı olarak besleme, alt ve üst akışlardan 20 dakika boyunca kesikli numuneler alınmıştır. Alınan tüm numunelerin tane boyu dağılımları ve katı içerikleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerden her bir test için madde denkliği oluşturulmuştur. Madde denkliği sonucunda devre etrafı tane boyu dağılımları istatistiksel olarak hatalardan arındırılarak düzeltilmiş ve bu değerler kullanılarak her bir test için devredeki tüm kolların akış değerleri (tonajları) ayrı ayrı hesaplanmıştır.

### 3.1 Kuvars Kumu ile Yapılan Çalışmalar

Deneysel çalışmaların bu aşamasında KYA'nın tane boyuna göre sınıflandırma performansının belirlenmesi amacıyla yoğunluğu sabit ( $2.64 \text{ g/cm}^3$ ) kuvars kumu

kullanılmıştır. Kullanılan toplam numune miktarı yaklaşık olarak 400 kg'dır.

Madde denkliği sonuçlarına göre her bir testten elde edilen KYA besleme, alt akım ve üst akım tane boyu dağılımları Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3 Farklı su hızlarında elde edilen KYA ürünlerine ait tane boyu dağılımları (Kuvars)

Kuvars kumu ile yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde yıkama suyu miktarının ve dolayısıyla hızının artması sonucunda alt ve üst akım tane boyu dağılımlarının irileştiği görülmektedir. Özellikle en yüksek yıkama suyu miktarı olan 7 l/dk. değerinde üst akım tane boyu dağılımının besleme tane boyu dağılımına çok yaklaştığı aynı koşulda ise en iri alt akım tane boyu dağılımının elde edildiği görülmektedir.

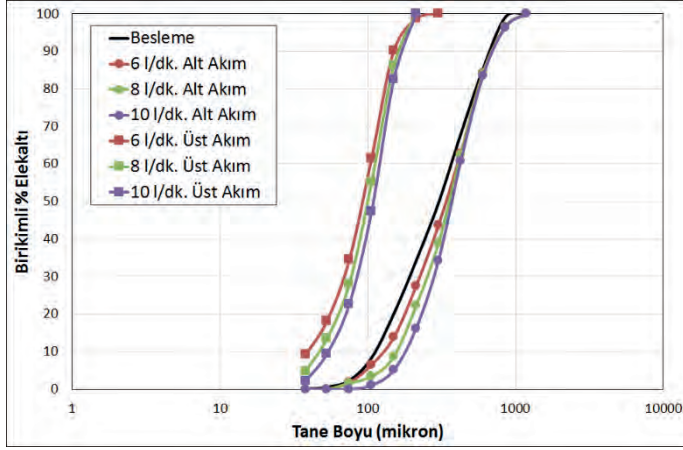
### 3.2 Manyetit Konsantresi ile Yapılan Çalışmalar

Deneysel çalışmaların bu aşamasında KYA'nın tane boyuna göre sınıflandırma performansının belirlenmesi amacıyla yoğunluğu sabit ( $4.93 \text{ g/cm}^3$ ) manyetit konsantresi kullanılmıştır. Kullanılan toplam numune miktarı yaklaşık olarak 500 kg'dır.

Madde denkliği sonuçlarına göre her bir testten elde edilen KYA besleme, alt akım ve üst akım tane boyu dağılımları Şekil 4'te verilmektedir.

Manyetit konsantresi ile yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde yıkama suyu miktarının ve dolayısıyla hızının artması

sonucunda alt ve üst akım tane boyu dağılımlarının irileştiği görülmektedir.



Şekil 4 Farklı su hızlarında elde edilen KYA ürünlerine ait tane boyu dağılımları (Manyetit)

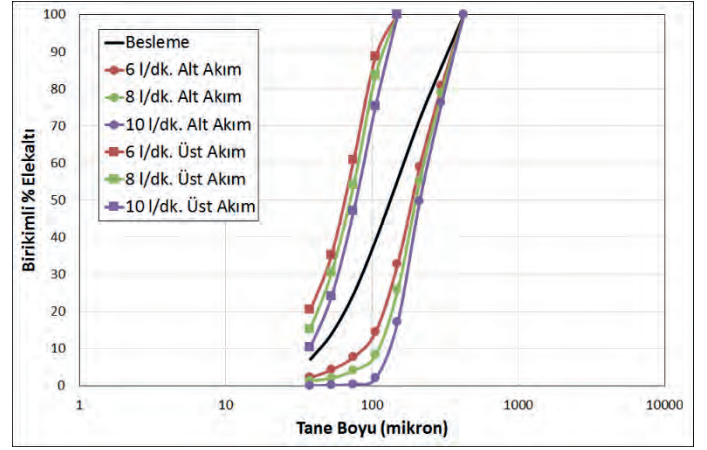
Ancak kuvars ile karşılaştırıldığında tane boyundaki irileşmenin daha sınırlı olduğu görülmektedir. Yıkama suyu miktarı daha fazla olmasına rağmen tane boyu dağılımlarının irileşmemesi manyetitin yüksek yoğunluğu ve iri tane boyu dağılımının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

### 3.3 Kromit Konsantresi ile Yapılan Çalışmalar

DeneySEL çalışmaların son aşamasında KYA'nın tane boyuna göre sınıflandırma performansının belirlenmesi amacıyla spiral zenginleştirme devresi ürününden alınan yoğunluğu sabit ( $3.77 \text{ g/cm}^3$ ), tenörü düşük (%25.55  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) bir kromit kullanılmıştır.

Madde denklığı sonuçlarına göre her bir testten elde edilen KYA besleme, alt akım ve üst akım tane boyu dağılımları Şekil 5'te verilmektedir.

Kromit konsantresi ile yapılan deneySEL çalışmalar incelendiğinde yıkama suyu miktarının ve dolayısıyla hızının artması sonucunda alt ve üst akım tane boyu dağılımlarının diğer numunelerde olduğu gibi irileştiği görülmektedir.

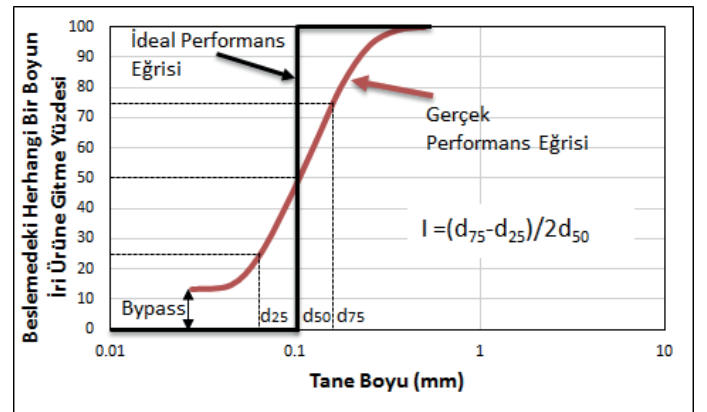


Şekil 5 Farklı su hızlarında elde edilen KYA ürünlerine ait tane boyu dağılımları (Kromit)

Kromit konsantresinden elde edilen tane boyu dağılımları kuvars kumu ve manyetit konsantresi ile karşılaştırıldığında tane boyundaki irileşmenin kuvarsa göre daha sınırlı olduğu görülmektedir. Manyetit ve kromit test koşullarının aynı olduğu göz önünde bulundurulduğunda ise, kromitin aynı koşullarda manyetitten daha ince dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Bu durum yine manyetitin tane boyu dağılımı ve yoğunluğu ile açıklanabilir.

## 4 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Madde denklığı sonuçları kullanılarak KYA'nın her test numunesi ve her koşul için ayrı ayrı performans eğrileri çizilmiştir. Tipik bir performans eğrisi ve eğriden elde edilen performans parametreleri Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6 Tipik bir performans eğrisi

Şekil 6’da görülen performans eğrisinin x-ekseninde logaritmik olarak tane boyu, y-ekseninde ise partiyon katsayısı yer almaktadır. Partiyon katsayısı, sınıflandırıcı beslemesinde yer alan herhangi bir boyut fraksiyonundaki malzemenin ne kadarının sınıflandırıcı alt akımı/irisi olarak alındığını göstermektedir. İdeal bir sınıflandırmada performans eğrisi üzerinde %50’si alt akıma %50’si ise üst akıma gitmekte olan bir tane boyu bulunmaktadır. Bu tane boyu değeri KYA’nın kesme boyu ( $d_{50}$ ) olarak adlandırılmaktadır. Dolayısıyla  $d_{50}$  değerinin küçülmesi sınıflandırıcının daha ince boyda bir ayırım yaptığını göstermektedir. İdeal ayırıda kesme boyundan iri taneler tamamen alt akıma, kesme boyundan ince taneler ise tamamen üst akıma gitmelidir. Ancak KYA ile yapılan sınıflandırma uygulamalarında beslemedeki ince tanelerin bir bölümü sınıflandırmaya uğramadan, alt akıma kaçak yaparak karışmaktadır. Bu durum alt akıma gelen su miktarı ile ilişkilendirilebileceği gibi, aynı zamanda ince tanelerin iri taneler arasında sıkışması ya da ince tanelerin iri tanelere yapışması şeklinde gerçekleştiği düşünülmektedir. Performans eğrisinin ulaştığı en düşük değer alt akıma kaçak, olarak adlandırılmaktadır ve genellikle alt akıma gelen su oranı ile yakın değerler almaktadır (Şekil 6). Kaçak değerinin düşük olması ayırım veriminin yüksek olduğunu göstermektedir.

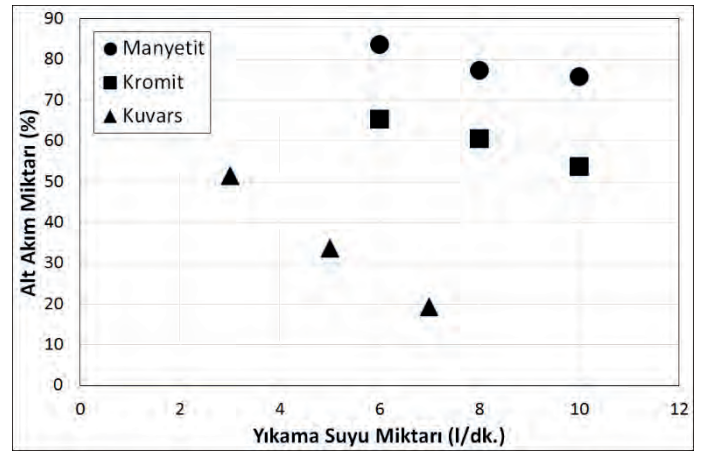
Performans eğrilerinin eğimi ayırım verimsizliği (Imperfection) hakkında bilgi vermektedir; performans eğrisinin dikleşmesi ayırım verimsizliğinin düştüğünü yani daha iyi bir ayırımın meydana geldiğini, eğrinin yatık hal alması ise ayırım verimsizliğinin arttığını göstermektedir.

Çizilen performans eğrilerinden elde edilen veriler doğrultusunda, farklı yıkama suyu miktarları için alt akıma giden malzeme miktarı, alt akıma kaçak (bypass), kesme boyu ( $d_{50}$ ) ve ayırım verimsizliği (I) değerleri hesaplanmıştır. Değerler toplu olarak Çizelge 4’te verilmektedir.

Çizelge 4 KYA’ya ait performans değerleri

Test No.	Test Malzemesi	Alt Akım (%)	Bypass (%)	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Imp. (I)
1	Kuvars	51.55	8.25	205	0.275
2	Kuvars	33.64	5.95	253	0.187
3	Kuvars	19.31	3.64	311	0.127
4	Manyetit	83.77	26.17	104	0.494
5	Manyetit	77.42	23.48	127	0.356
6	Manyetit	75.78	20.29	149	0.222
7	Kromit	65.29	19.53	138	0.295
8	Kromit	60.57	11.02	165	0.223
9	Kromit	53.74	6.44	190	0.146

Su hızı ve KYA alt akım miktarı arasındaki ilişki Şekil 7’de verilmektedir.



Şekil 7 Yıkama suyu miktarı ve KYA alt akım miktarı arasındaki ilişki

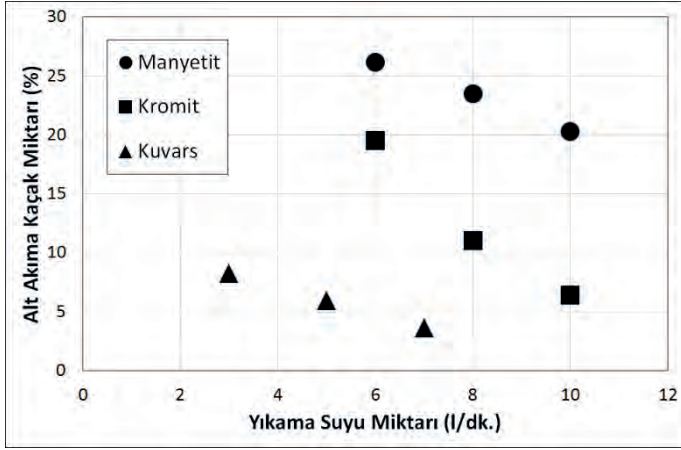
Şekil 7’den açıkça görüldüğü üzere, yıkama suyu miktarının artması tüm test numuneleri için KYA alt akımına giden malzeme miktarını azaltmaktadır. Yıkama suyu miktarı arttıkça alt akım miktarındaki en çok düşüş kuvarsta, en az düşüş ise manyetitte görülmüştür. Kromitteki düşüş ise kuvars numunesinden çok, manyetit numunesinden daha azdır.

Tanelerin aşağı yönlü çökme hızına ters yöndeki yukarı yönlü su hızı, yıkama suyu miktarının ve KYA kolon kesit alanının bir fonksiyonudur. Ayırım bölgesine giren tanelerin çökme hızları yukarı yönlü su hızından düşük olduğu takdirde taneler üst akıma taşınmaktadır. Bu nedenle yıkama suyu miktarının artırılması sonucu aynı yatak basıncı değerinde daha fazla tane üst

akıma gitmekte ve bu nedenle alt akım miktarı da düşmektedir.

Testlerde kullanılan numunelerin yoğunluk değerleri ele alındığında bu değişimin malzeme yoğunluğu ve tane boyu dağılımı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Sonuçlar yüksek yoğunluklu malzemelerin aynı koşullarda üst akıma taşınması için daha fazla miktarda yıkama suyuna ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

Su hızı ve alt akıma kaçak (bypass) miktarı arasındaki ilişki Şekil 8’de verilmektedir.



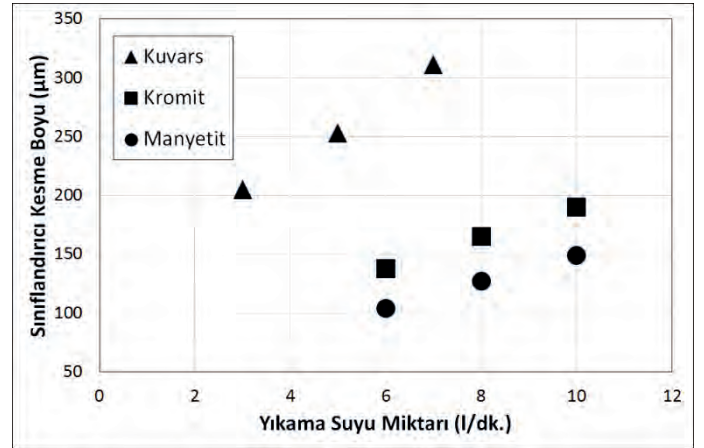
Şekil 8 Yıkama suyu miktarı ve alt akıma kaçak miktarı arasındaki ilişki

Şekil 8’de yıkama suyu miktarının artması sonucu alt akıma kaçak miktarının tüm test numunelerinde farklı oranlarda azaldığı görülmektedir. Manyetit ve kromitin aynı test koşullarındaki kaçak değerleri farklıdır. Bu sonuç aynı miktar yıkama suyunun ince kromit taneleri üzerinde daha fazla etkisi olduğunu ve bu taneleri daha kolay üst akıma taşıdığını göstermektedir. Test numuneleri arasındaki en düşük kaçak miktarı düşük yoğunluklu kuvars numunesindedir.

Yıkama suyu miktarının artması sonucu KYA içerisinde yukarı yöndeki su hızı da artmaktadır. Kaçak miktarındaki azalmanın temel sebebi akışkan yatak içerisindeki tüm tanelerin daha yüksek hidrolik taşıma kuvvetine maruz kalması ve bu sayede ince tanelerin alt akıma gidişlerinin azalmasıdır. Ancak taneler ne kadar ince olsalar da, aynı tane boyuna sahip yoğunluğu yüksek tanenin kütlesi daha fazla olacaktır. Bu nedenle aynı koşullar altında yukarı yönlü su hızından daha az etkilenecektir. İnce manyetit

tanelerinin yüksek kaçak değerlerine sahip olması bu şekilde açıklanabilir.

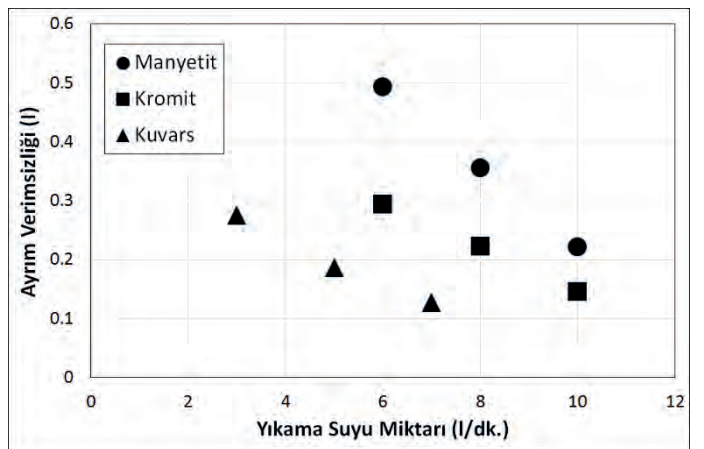
Su hızı ve kesme boyu arasındaki ilişki Şekil 9’da verilmektedir.



Şekil 9 Yıkama suyu miktarı ve kesme boyu arasındaki ilişki

Şekil 9 incelendiğinde yıkama suyu miktarının artması sonucunda KYA’nın kesme boyunun irileştiği gözlenmektedir. Bir başka deyişle KYA’nın hem üst akım hem de alt akım tane boyu dağılımları irileşmektedir. Yıkama suyu miktarının artması sonucu yukarı yönlü hidrolik taşıma kuvveti de artmaktadır. Bu durum akışkan yatağın daha alt bölgelerinde yer alan iri tanelerin de üst akıma taşınmasına olanak sağlamaktadır. Literatür çalışmalarında da KYA kesme boyunun birincil olarak yıkama suyu hızına bağlı olduğu bildirilmektedir[3,10,11,14].

Yıkama suyu miktarı ve verimsizlik arasındaki ilişki Şekil 10’da verilmektedir.



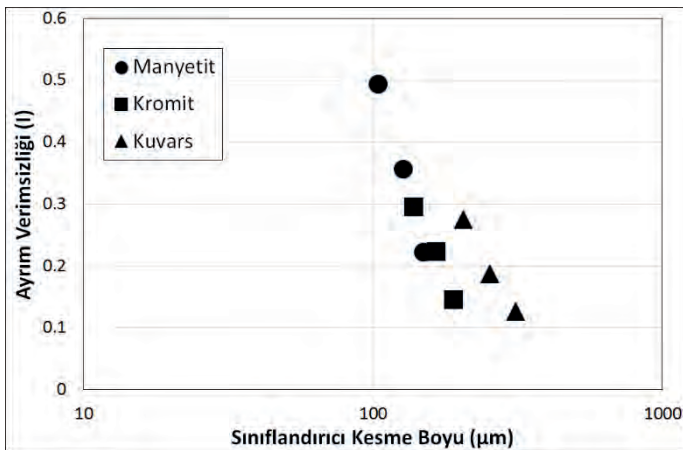
Şekil 10 Yıkama suyu miktarı ve verimsizlik arasındaki ilişki

Şekil 10 incelendiğinde verimsizliğin su hızı ile büyük ölçüde düştüğü, bir başka

deyişle KYA'nın daha verimli bir sınıflandırma yaptığı görülmektedir. Yıkama suyu miktarı ile birlikte akışkan yatak içerisindeki su hızının artması, yukarıda da bahsedildiği üzere hem ince tanelerin alt akıma kaçak miktarını düşürmekte hem de akışkan yatağı daha iyi yıkayarak KYA performansını arttırmaktadır. Yapılan tüm çalışmalar sonucunda yüksek su hızı ve engelli çökme koşullarını oluşturabilecek yeterli basınç değerlerinde ince tanelerin üst akıma daha kolay ilerleyebildiği ve bu nedenle alt akıma daha az miktarda geldiği düşünülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda da yukarı yönlü su hızının artması sonucu hidrolik taşıma kuvvetinin arttığı ve bu nedenle ince tanelerin alt akıma daha düşük oranlarda gittiği bildirilmektedir [12], [13], [14].

Sınıflandırıcıların performansları ele alındığında, sınıflandırıcının kesme boyunda meydana gelen değişimlerin performans üzerine etkileri de önem arz etmektedir. Sınıflandırıcının hangi kesme boyu aralıklarında verimli çalıştığı bilinmesi tesis uygulamaları açısından kritik bir konudur. Bu çalışma kapsamında KYA kesme boyundaki değişimin performans üzerine olan etkileri de belirlenmiş ve yorumlanmıştır.

KYA kesme boyu ile verimsizlik (I) arasındaki ilişki Şekil 11'de verilmektedir.



Şekil 11 KYA kesme boyu ve ayırım verimsizliği (I) arasındaki ilişki

Şekil 11 incelendiğinde kesme boyundaki irileşmenin verimsizliği düşürdüğü yani daha verimli bir ayırım sağladığı görülmektedir. Ancak daha ince kesme boylarında KYA

verimi düşmektedir. Bu durumun başlıca sebebi yukarı yönlü hidrolik taşıma kuvvetinin azalması ve ince tanelerin alt akıma gelme şanslarının yükselmesidir. Şekil 11'de dikkat çeken bir başka nokta manyetit ve kromit konsantrasyonlarının yakın kesme boyu değerlerinde verimsizlik değerlerinin de yakın olmasıdır. Bu durum verimsizlik değerinin malzeme özelliklerinde bağımsız olduğu anlamına gelebilir. Ancak bu durumun daha net açıklanması için daha fazla veri setine ihtiyaç duyulmaktadır.

## 5 YORUM VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yeni nesil hidrolik sınıflandırıcılardan olan kabaran yataklı ayırıcının (KYA), en önemli işletme değişkenlerinden yıkama suyu miktarının sınıflandırma performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca deneysel çalışmalarda farklı tane boyu dağılımı ve yoğunluktaki cevherler kullanılarak malzeme özelliklerinin ayırım üzerindeki etkisi de araştırılmıştır.

Yıkama suyu miktarı ve kolon kesit alanının bir fonksiyonu olan yukarı yönlü su hızı tanelerin hangi yönde hareket edeceğini belirlediğinden KYA performansını etkileyen birincil değişkendir. Alt ve üst akımlardan alınan ürün miktarı, ince boyların alt akıma kaçak miktarı, kesme boyu ve ayırım verimsizliği su hızı ile doğrudan ilişkilidir.

KYA iri kesme boylarında ince kesme boylarına oranla daha verimli çalışmaktadır. İri kesme boylarında çalışıldığında alt akıma kaçak değerlerinde de azalma görülmektedir.

Aynı işletme koşullarında farklı yoğunluktaki cevherlerin davranımları da farklı olmuştur. Bu durum yıkama suyu miktarı yanında yoğunluk, tane boyu dağılımı gibi malzeme özelliklerinin de ayırım üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

KYA'nın daha detaylı değerlendirmesi için basınç set değeri, besleme hızı, besleme katı miktarı, bağlı tanelerin akışkan yatak içerisindeki davranımları, tane şekli gibi diğer önemli değişkenlerinde değerlendirilmesi ve daha geniş su hızı ve



basınç set değerlerinde çalışma yapılması önerilmektedir.

Ayrıca benzer işletme koşullarında KYA ve diğer sınıflandırıcıların performans karşılaştırılması da planlanan çalışmalar arasında yer almaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: 14107

## KAYNAKLAR

[1] Kumar C.R.; Tripathy, S.K.; Rao D.S. (2009) Characterization and pre-concentration of chromite values from plant tailings using floatex density separator. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Cilt. 8, s. 367–378.

[2] Kari, C.; Kapure, G.; Rao, S.M.; Rao, N.D. (2006) Predicting the Chromite Mineral Upgradation in Floatex Density Separator Using Hindered Settling Models. *ISIJ. Int.*, Cilt 46, s. 966–973.

[3] Ozcan, O.; Ergun, L. (2015) Classification Performance Evaluation of a Teetered Bed Separator for Silica Sand, *Proceedings of the 14th European Symposium on Comminution & Classification*, s. 240-244, Gothenburg.

[4] Tripathy, S.K.; Mallick M.K.; Singh V.; Murthy R.M. (2013) Preliminary studies on teeter bed separator for separation of manganese fines, *Powder Technology*, Cilt 239, s. 284-289.

[5] Ozcan, O.; Celik, I. (2016) Beneficiation routes for upgrading iron ore tailings with a teetered bed separator, *Separation Science and Technology*, Cilt 51:17, s. 2844-2855.

[6] Schlesinger, L.; Hutwelker, J. (1992) Preliminary Desliming Tests NC Phosphate Using a Pilot-Scale Linatex Hydrosizer, North Carolina State Minerals Research Laboratory, North Carolina.

[7] Tripathy, S. K.; Bhoja, S. K.; Kumar C. R.; Suresh, N. (2015) A short review on hydraulic classification and its development

in mineral industry, *Powder Technology*, Cilt 270, s. 205-220.

[8] Maharaj, L. (2005) An Investigation Of The Hydrodynamics Of The Teetered Bed Separator For Fine Coal Recovery, MSc. Thesis, University of Kwazulu-Natal, Durban.

[9] Honaker, R. Q.; Mondal, K. (1999) Dynamic Modelling Of Fine Particle Separations In An Hindered Bed Classifier, *Coal Prepar.*, Cilt. 21, s. 211-232.

[10] Kumar, C.R.; Tripathy, S.K.; Mohanan, S.; Venugopalan T.; Suresh, N. (2010), Evaluation Of Floatex Density Separator Performance Using Silica Sand, *Proceedings of the XI International Seminar on Mineral Processing Technology (MPT-2010)*, India.

[11] Remes, A.; Tuikka, A.; Kivio, H. (2011) Simulation and pilot experiments on pyrite concentrate separation in a Floatex density separator, *Minerals and Metallurgical Processing*, Cilt 2, no. 28, s. 62-70.

[12] Kumar, C.R.; Bhoja, Tripathy, S.K.; Mohanan, S.; Venugopalan T.; Suresh, N. (2013) Classification performance evaluation of floatex density separator for coal fines, *Fuel*, Cilt 108, s. 303-310.

[13] Kohmuench, J.N.; Yan, E.S.; Mankosa, M.J. (2010) Design, operation and control of a teeter-bed hydroseparator for classification, *Minerals & Metallurgical processing*, Cilt 27, no. 3, s. 166-172.

[14] Ozcan, O. (2015) Performance of Teetered Bed Separators for Non-coal Applications, PhD. Thesis, Hacettepe University, Department of Mining Engineering, Ankara/TURKEY, 168 s.

# Sallantılı Masa Atığı Antimonit Cevherinin Knelson Konsantratörü ile Zenginleştirilmesinin İstatistiksel Analizi

## *Statistical Analysis for Beneficiation of Shaking Table Antimonite Waste by Knelson Concentrator*

U. Demir, O. Şahbaz, Ö. Canıeren, S. Karaca, C. Karagüzel

*Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Evliya Çelebi Yerleşkesi, Kütahya, Türkiye*

**ÖZET** Stratejik öneme sahip olan antimonit, sanayide sertleştirici ve korozyon önleyici özellikleri nedeniyle metal alaşımlarda kullanılırken, sülfid ve oksit bileşenleri metal dışı sektörlerde de kullanılmaktadır. Metal veya metal dışı sektörlerde kullanılan antimonitin oldukça yüksek tenörlerde olması istenmektedir. Genellikle iri boyutta fiziksel ve ince boyutta fizikokimyasal yöntemler ile zenginleştirilen antimonit konsantrelerinin en az %60 Sb tenörüne sahip olması istenmektedir.

Günümüzde iri boyutta serbestleşen cevherlerin azalması, ince boyutlarda özellikle sülfür tipli antimonitler için flotasyon tekniği ile zenginleştirmeyi ön plana çıkarmaktadır. Ancak ince boyutlu sülfürlü ve oksitli cevherlerin zenginleştirilmesinde daha ekonomik ve çevreci olan yeni teknoloji cihazların kullanılabilmesi düşünülmektedir. Bu amaçla; bu çalışmada -212 mikrometre boyutundaki antimonit cevherinin Knelson konsantratörü ile zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Yapılan deneylerde en uygun çalışma parametrelerinin belirlenmesi amacı ile  $2^3$  faktöriyel deney tasarımı yöntemi uygulanmıştır. Buna göre; mümkün olan en yüksek antimonit kazanma verimi ve tenörünü elde etmek için, G santrifüj kuvvetini maksimize edilmesi diğer parametrelerin ise minimum düzeylerinde tutularak deneylerin yapılması gerekliliği ortaya konulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Antimonit, Knelson Konsantratör, deney tasarımı

### **ABSTRACT**

Antimonite has a strategic importance is used as hardening agent and corrosion inhibitor in metal alloy while sulfide and oxide compound of it is used in non-metallic sectors. The grade of antimonite have to be high enough to use it in both metal and non-metal sectors. The grade of antimonite concentrate have to be more than 60% Sb, and it is concentrated by physical and physico-chemical methods for the coarse and fine sizes, respectively.

Flotation has been mostly preferred method nowadays due to the fine liberation size of antimonite minerals. On the other hand, some newcomer physical methods can be applied to concentrate fine antimonite ore economic and environmental points of view. Therefore, fine antimonite ore (-212  $\mu$ ) has been tried to concentrate by the use of Knelson concentrator in the present study. Statistical design of the experiment, so called factorial design, has been used to

determine the main and interaction effects of parameters on recovery and grade. As a result; the highest possible G force, minimum level of water flow rate and feeding rate can be used to obtain highest possible grade and recovery values.

**Keywords:** Antimonite, Knelson concentrator, design of experiment

## 1 GİRİŞ

Stratejik öneme sahip olan antimon (Sb) cevherleri metalürjik olarak demir dışı metaller grubunda yer almaktadır. Antimon cevherinin yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonu 0.3 ppm'dir. Doğada nadiren serbest halde bulunan antimon, genellikle diğer elementlerle bileşik yaparak farklı mineraller şeklinde bulunur. En önemli minerali sülfürlü olan stibnit ( $Sb_2S_3$ ) olup, senarmontit ( $Sb_2S_3$ ) gibi oksitli minerali de bulunmaktadır. Antimon aynı zamanda gümüş, bakır ve kurşun ile birlikte kompleks sülfürler halinde oluşmaktadır. (Bhatti vd., 2014).

Satılabilir antimonit konsantrasyonlarının genellikle oldukça yüksek Sb içeriğine sahip olması istendiğinden (>%60) cevher içerisindeki gang içeriğinin mümkün olduğu kadar azaltılması gerekmektedir. Antimonitin zenginleştirilmesinde yöntem seçimi cevherin karakteristiğine bağlıdır. Sülfürlü cevherlerin zenginleştirilmesi flotasyon ile mümkün olurken oksitli cevherler gravimetrik teknikler ile zenginleştirilmektedir (Kocabaş vd., 2012; Lager ve Forssberg, 1989).

Antimonitin zenginleştirilmesi ile ilgili literatürde farklı yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Güven vd. (2012), düşük tenörlü antimonit atıklarının değerlendirilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. İri boyutlarda (-1 mm, -0.5 mm) sallantılı masa kullanarak gravimetrik zenginleştirme, ince boyutlarda ise (-0.212 mm, -0.106 mm, -0.075, -0.038

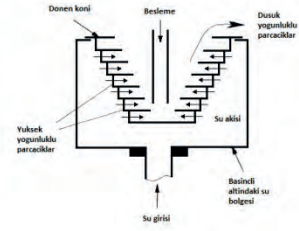
mm) flotasyon yöntemi ile zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Sallantılı masa zenginleştirme testleri sonucunda, sırasıyla -1 mm için %4.79 antimonit içeren cevherden %26.51 içerik ve %23.2 verim, -0.5 mm için %4.54 antimonit içeren cevherden %24.17 tenör ve %33.9 verimle konsantrasyonlar elde etmişlerdir. İnce boyutlara uygulanan flotasyon yönteminde 6 aşamada gerçekleştirilen temizleme testleri sonucunda %4.79 antimon içeren cevherden %60.75 içerikli antimon konsantrasyonu elde etmeyi başarmışlardır.

Bhatti vd. (2014), sülfürlü tip oluşuma sahip antimonit cevherlerine flotasyon testleri uygulamışlardır. Flotasyon deneylerinde tane boyutu, pülpte katı oranı, pH, karıştırma hızı ve reaktif miktarı gibi parametrelerin optimum antimon kazanma verimi ve tenörüne etkisini incelemişlerdir. Zenginleştirme testleri sonucunda belirlenen optimum parametrelerde (tane boyutu: -74 µm, pH: 9, pülp katı oranı: %30, karıştırma hızı: 1100 rpm, reaktif miktarları; kurşun asetat 1250 g/t, amil ksantat 300 g/t, çam yağı 40 g/t, sodyum silikat: 800 g/t ve sodyum siyanit 100 g/t) %20.04 antimon içeren cevherden %65.12 içerikli ve %85.79 kazanma verimiyle antimon konsantrasyonu elde etmişlerdir.

Bhatti vd. (2008), sülfürlü antimon minerali olan stibnitin zenginleştirilmesine yönelik flotasyon tekniği ile bazı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Flotasyon testleri sonucunda düşük tenörlü stibnitten %62 Sb içerikli ve %95 kazanma verimi ile antimon konsantrasyonu elde etmişlerdir.

Antimonit zenginleştirme amacıyla özellikle ince boyutlu ve oksit tipi cevherler için fiziksel metodların kullanılmasının ekonomik olacağı düşünülmektedir. Bu yöntemlerden biri Knelson konsantratörü ile zenginleştirilmiştir. 1970 yılında Byron Knelson tarafından icat edilen, Knelson konsantratörünün son yıllarda ince cevher zenginleştirmede kullanıldığı literatürden izlenmektedir (Knelson 1992).

Knelson konsantratörü, taneler arasında yoğunluk farkından yararlanarak, santrifüj kuvvet ve tabakalı akış etkisiyle tanelerin seçimli ayrımını sağlamaktadır (Knelson 1992, Klein ve diğ. 2010 ). Şekil 1’de Knelson konsantratör resmi ve şematik görüntüsü verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ters koni şeklindeki ayırma bölgesi, bir elektrik motoru ile yüksek devirlerde (yerçekimi kuvvetinin-G 300-400 katı) döndürülmektedir. Basamaklar şeklinde dizayn edilen ayırma konisinin her bir basamağından sisteme belirli bir basınçta su ilavesi gerçekleştirilmekte, böylece santrifüj kuvvetin etkisi ile aşağıdan yukarı doğru hareket eden akışkan bir tabakanın oluşması sağlanmaktadır. Besleme, ayırma konisinin tabanına pülp şeklinde yapılmakta, yoğunluğu yüksek olan tanecikler santrifüj kuvvetten daha fazla etkilendikleri için basamaklar arasında kalırken, yoğunluğu düşük olan tanecikler basamaklardan sisteme verilen su ile aşağıdan yukarı doğru hareket eden akışkan tabakaya karışarak ortamı üst taraftan terk etmektedirler. Cihazda ayırma konisi dönüş hızı (G kuvveti), sisteme verilen su basıncı ve tane boyutu gibi çalışma parametreleri bulunmaktadır (Demir 2011, Kökkılıç vd. 2015).



Şekil 1. Knelson konsantratör ve şematik görünüşü (Demir 2011)

Knelson konsantratör daha çok düşük tenörlü ve çok küçük serbestleşme tane boyutuna sahip altın ve gümüş gibi metalik cevherlerin kazanılması amacıyla geliştirilmiştir.

Knelson konsantratör düşük tenörlü altın kazanılmasında kullanılan en önemli gravite ayırıcılarından birisidir (Chernet vd. 1999, Coulter ve Subasinghe 2005, Greenwood vd. 2013, Zhou vd. 2016). Klein vd. (2010) yapmış oldukları çalışmalarda altın içeren, düşük tenörlü sülfürlü cevherlerin flotasyon atıklarının değerlendirilmesinde Knelson konsantratörü kullanmışlardır. Delfini (2000) ise Knelson konsantratörünün metalik cevherlerde daha etkili olduğunu ifade ederek, küçük altın işleme atölyelerinin atıklarında bulunan altın tozlarının kazanılmasında kullanmıştır. Çalışmalar sonucunda teorik olarak ince boyutta oldukça yüksek ayırma verimlerinin (%90) elde edildiğini, fakat yaptıkları bu çalışmada %68 verim ile ayırmanın sağlandığını belirtmektedir.

Knelson Konsantratör metalik cevherler yanında toz kömürün zenginleştirilmesinde de birçok araştırmacı tarafından kullanılmış, çalışmalar laboratuvar boyutunda kalmış, endüstriyel boyuta taşınamamıştır (Rubiera vd. 1996, Demir 2011, Uslu vd. 2012). Rubiera vd. (1996) yapmış oldukları bir çalışmada, ince boyuttaki İngiliz kömürlerinin zenginleştirilmesinde Mozley Multi-G, Knelson konsantratör ve hidrosiklon ile karşılaştırmalı olarak deneyler

gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada Mozley Multi-G ve Knelson konsantratörünün küçük tane boyutlarında daha etkili oldukları ifade edilmiştir.

Nadir toprak elementlerinin kazanılmasında ön konsantre elde edilmesinde Knelson konsantratörünün kullanıldığı çalışmalarda mevcuttur (Jordens vd. 2014).

Atıklardan değerli minerallerin kazanılması amacıyla da kullanılan knelson cihazı ile Kıyak ve Karagüzel (2015) %5 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kromit tesisi atıklarından %20 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği ile krom konsantresi %75 verim ile elde etmişlerdir.

Antimonit cevherinin zenginleştirilmesi ile ilgili literatür incelendiğinde, sülfürlü tip antimonit cevherlerinin flotasyon yöntemi ile oksitli tip antimonit cevherlerin ise gravimetrik yöntemler ile daha çok sallantılı masa ile zenginleştirildiği görülmektedir. Ancak masa ile zenginleştirilmesi zor ince boyutlu cevherlerin zenginleştirilmesine yönelik literatürde yeterince çalışmaya rastlanılmamıştır.

Araştırmacılar, optimum zenginleştirme şartlarının belirlenmesinde istatistiksel yöntemleri de kullanmaktadırlar (Kelebek vd., 2007; Şahbaz, 2013; Yılmaz vd. 2015). İstatistiksel deney tasarım metotları özellikle parametrelerin ana etkileri yanında birbirleriyle olan çoklu etkileşimlerinin verimi ve tenör üzerindeki etkisini ortaya çıkarması açısından oldukça önemli sonuçlar vermektedir. Birçok araştırmacıya göre gerçek optimum değerlere ulaşmak istatistiksel yöntemler kullanmadan sadece klasik yöntemlerle pek mümkün değildir.

Bu çalışmada Kütahya-Gediz yöresi oksitli masa atığı antimonitin Knelson konsantratörü ile zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. Yapılan deneylerde en uygun çalışma parametrelerinin belirlenmesi amacı

ile 2<sup>3</sup> faktöriyel deney tasarımı uygulanmıştır.

## 2 MATERYAL VE METOT

### 2.1 Materyal

Bu çalışmada Kütahya Gediz yöresi oksitli antimonit cevheri kullanılmıştır.

Temsili olarak alınan antimonit cevher örneği Dumlupınar Üniversitesi Cevher Hazırlama laboratuvarlarında boyut küçültme işlemlerini takiben, konileme-dörtleme yöntemi uygulanarak numune azaltılmış, bir kısmı deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere ayrılırken diğer kısmı stoklanmıştır. Temsili numune üzerinde önce eleme işlemi uygulanarak -1+0.5 mm, -0.5+0.212 mm ve -0.212 mm boyut aralıklarında sınıflandırılmış ve antimonit içeriklerinin belirlenmesi amacıyla analiz edilmiştir (Çizelge 1). İri boyut olarak tarif edilen -1+0.5 ve -0.5+0.212 mm'lik ürünler sallantılı masada değerlendirilmiştir. Sallantılı masada değerlendirilemeyen toplam cevherin %60'ı olan -0.212 mm boyutundaki masa atığı ise knelson konsantratörü değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Tane boyut dağılımı ve her boyut grubunda %Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği

Tane Boyutu (mm)	Miktar (%)	Tenör (%Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
-1+0.5	23.75	17.51
-0.5+0.212	18.29	27.43
-0.212	60.19	36,57

### 2.2Yöntem

#### 2.2.1 Knelson Konsantratör testleri

Deneylerde Şekil 2'de görülen KC-MD3 model Knelson konsantratörü kullanılmıştır.50 gr temsili antimonit cevheri deneylerde sabit miktarda su (200 ml) ile karıştırılarak pülp haline getirilerek Knelson konsantratörüne pülp halinde beslenmiştir. Çalışmada, knelson konsantratörünün

santrifüj kuvveti (G), besleme hızı (ml/dak), su debisi (lt/dak) gibi parametrelerinin antimonit kazanma verimi ve tenör üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneylerde parametrelerin ana ve çoklu etkileşimlerini görebilmek amacıyla  $2^3$  faktöriyel istatistiksel deney tasarımı kullanılmıştır.



Şekil 2. Knelson konsantratörü (Kıyak ve Karagüzel, 2015)

### 2.2.2 Tam faktöriyel deney tasarımı

$2^3$  tam faktöriyel deney tasarım metodu kullanılan bu çalışmada seçilen üç parametrenin düzeyleri Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’de -1, 0 ve +1 sırasıyla düşük, orta ve yüksek düzey anlamına gelmektedir. Deney tasarımı oluşturulurken her bir parametrenin üç düzeyi de dikkate alınarak Knelson konsantratörü ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deneylerin tekrarlanabilirliğini göstermek amacıyla da fazladan dört adet orta nokta deneyi yapılmıştır.

Çizelge 2.  $2^3$  Faktöriyel deney tasarım parametreleri ve düzeyleri

Parametreler	Kod	Düzye		
		-1	0	+1
G Santrifüj kuvveti ( $g.cm/s^2$ )	$X_1$	40	60	90
Su debisi (L/dk)	$X_2$	2	3	4
Besleme hızı (L/dk)	$X_3$	1.5	0.75	0.35

## 3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Masa atığı antimonit cevherine istatistiksel deney tasarımı uygulanarak yapılan Knelson

konsantratör deney şartları ve sonuçları Çizelge 3’de görülmektedir.

Çizelge 3. Deney sonuçları

Deney No	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Verim (%)	Tenör (%Sb)
1	-1	-1	-1	58.86	39.12
2	+1	-1	-1	68.09	38.57
3	-1	+1	-1	80.10	37.49
4	+1	+1	-1	70.44	38.36
5	-1	-1	+1	69.68	36.62
6	+1	-1	+1	69.99	37.74
7	-1	+1	+1	67.95	38.51
8	+1	+1	+1	67.88	38.38
9	0	0	0	69.82	38.74
10	0	0	0	60.04	38.25
11	0	0	0	74.42	35.01
12	0	0	0	68.00	38.43

Çizelge 2’deki sonuçlara göre; en yüksek verim (%80,10) değeri 3 nolu deneyden elde edilmiştir. Bu deneyde elde edilen konsantr tenörü %37.49 Sb’dir. Parametrelerin ana ve çoklu etkilerinin görüldüğü istatistiksel modele göre (Eşitlik 1); verim (R) üzerinde en etkin parametre su debisi ( $X_2$ ) dir. G santrifüj kuvvetinin ( $X_1$ ) de su debisine yakın değerde bir etkisi bulunmaktadır. Besleme debisi ( $X_3$ ) verim üzerinde en az etkili parametredir. G santrifüj kuvveti ve su debisinin birlikte etkisi ise verim üzerinde en önemli değişikliğe sahip ikili etkileşimdir.

$$R = +69.17 + 4.41X_1 - 4.49X_2 - 0.74X_3 + 0.81X_1X_2 - 0.64X_1X_3 + 0.49X_2X_3 + 0.97X_1X_2X_3 \dots \dots \dots (1)$$

İstatistiksel modelden anlaşılacağı üzere, verimi arttırmak için G santrifüj kuvvetini arttırmak ve besleme hızı ile su debisini azaltmak gerekmektedir.

Çizelge 2’deki sonuçlar tenör açısından değerlendirilecek olunursa; en yüksek tenör değeri (%39,12 Sb) 1 nolu deneyden elde edilmiştir. Ayrıca Çizelge 2’deki sonuçlar tenör açısından değerlendirildiğinde

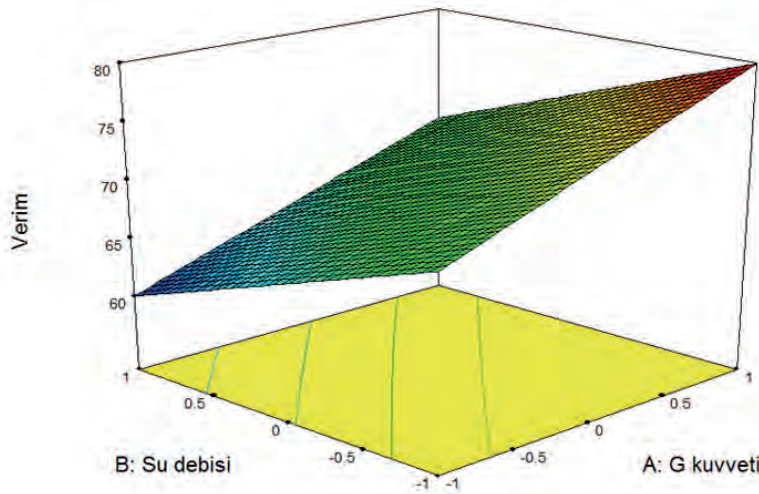
aşağıdaki istatistiksel model (Eşitlik 2) elde edilmiştir.

$$R = +37.67 - 0.42X_1 + 0.80X_2 - 0.11X_3 + 0.2X_1X_2 - 0.76X_1X_3 + 0.076X_2X_3 + 0.29X_1X_2X_3 \dots \dots \dots (2)$$

Eşitlik 2' ye göre; G santrifüj kuvveti ve besleme hızının artması konsantre tenörünü düşürmektedir. Buna karşın su debisi artışı konsantre tenörünü arttırmaktadır.

Knelson konsantratörü ile yapılan deneyler istatistiksel olarak yorumlandığında mevcut

şartlarda en yüksek verim ve tenöre ulaşabilmek için G santrifüj kuvveti 90, su debisinin 2 L/dk ve besleme debisinin 1,5 L/dk seçilmesi uygun görünmektedir (Şekil 15). Eğer minimum G santrifüj kuvveti ile en uygun sonuçlar almak istenirse; su debisinin 2 L/dk ve besleme debisinin 0,35 L/dk seçilmesi uygun görülmektedir. Yapılacak ek çalışmalarda parametrelerin bahsedilen düzeylerinde ve daha ince tane boyutlarında deneylerin gerçekleştirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.



Şekil 2. Optimum şartlarda parametrelerin verime etkisi (besleme debisi minimumda sabit)

#### 4 SONUÇ

Bu çalışmada, Knelson konsantratörüne ait üç çalışma parametresinin (G kuvveti, su debisi ve besleme hızı) Kütahya-Gediz ilçesi Hidayet Bölgesi antimonitlerinin zenginleştirilebilirliğine etkisi, 2<sup>3</sup> faktöriyel istatistiksel deney tasarımı kullanılarak irdelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, mümkün olan en yüksek antimonit kazanma verimi ve tenörünü değeri elde etmek için, G santrifüj kuvvetini maksimize edilmesi diğer parametrelerin ise minimum düzeylerinde tutularak deneylerin yapılması gerekliliği ortaya konulmuştur. İstatistiksel deney tasarımı yapılarak daha az sayıda deney ile en uygun çalışma parametrelerinin belirlenmesi sağlanmaktadır.

#### KAYNAKLAR

Bhatti, M.A., Kazmi, K. R., Mehmood, A., Mehmood, R., Ahad, A., Akram, A., 2014. Flotation study on low-grade antimony ore of qilla abdullah, balochistan, pakistan, Bangladesh J. Sci. Ind. Res. 49(2), 95-102.

Bhatti, M.A., Kazmi, K. R., Nizami, M. S., Anwar, M.S., Habib, M., 2008. Beneficiation Studies on Low-Grade Stibnite Ore of Chitral, NWFP, Pakistan, Pak. J. Sci. Ind. Res. 51(1) 45-51.

Chernet, T., Marmo J., Nissinen A., 1999. "Significantly Improved Recovery of Slightly Heavy Minerals From Quaternary Samples Using GTK Modified 3" Knelson Preconcentrator" Minerals Engineering, vol:12, 1521-1526

- Coulter, T., Subasinghe G.K.N., 2005 “A mechanistic approach to modelling Knelson concentrators” *Minerals Engineering*, vol:18, 9-17
- Delfini, M., Manni, A., And Massacci, P., 2000, Gold Recovery From Jewellery Waste, *Minerals Engineering*, Vol. 13, No. 6, Pp. 663-666
- Demir U., 2011. “Kütahya-Gediz Yöresi kömürlerindeki Kükürdün Uzaklaştırılması” *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Doktora Tezi, Kütahya*
- Greenwood, M., Langlois, R., Waters K.E., 2013. “The potential for dry processing using a Knelson Concentrator” *Minerals Engineering*, vol:45, 44-46
- Güven, O., Burat, F., Kangal, O., Acarkan, N., Önal, G., 2012. Beneficiation Of Antimony Tailings, *Proceedings of XIII th International Mineral Processing Symposium Bodrum-Turkey.*
- Jordens A., Sheridan R. S., Rowson N. A., Waters K. E. 2014. “Processing a rare earth mineral deposit using gravity and magnetic Separation” *Minerals Engineering*, vol:62, 4-18
- Kelebek, Ş., Demir, U., Şahbaz, O., Ucar, A., Cinar, M. Karaguzel, C. Oteyaka, B., 2008. The effects of dodecylamine, kerosene and pH on batch flotation of Turkey’s Tuncbilek coal, *International Journal of Mineral Processing*, Cilt 88, Sayı 3-4, 65-71.
- Kıyak, T., Karagüzel, C., 2015, Knelson Konsantratörü çalışma parametrelerinin kromit zenginleştirme tesisi atıklarından kromit kazanımına etkisi, *IMCET 2015 Bildiriler Kitabı*, 877-883
- Klein, B., Altun, N., E., Ghaffari, H., McLeavy, M., 2010, A Hybrid Flotation-Gravity Circuit for Improved Metal Recovery” *International Journal of Mineral Processing*, Volume 94, Issues 3-4, 28, 159-165
- Knelson, B., 1992, The Knelson Concentrator. *Metamorphosis From Crude Beginning To Sophisticated World Wide Acceptance Minerals Engineering*. Vol, 5, Nos 10-12. Pp. 1091-1097, 1992
- Kocabaş, B., Güven, O., Özer, M., Kangal, O., 2012. The Beneficiation of Antimony Ore by Flotation, *Proceedings of XIII th International Mineral Processing Symposium Bodrum-Turkey.*
- Kökkılıç Ö., Langlois, R., Waters K. E., 2015. “A design of experiments investigation into dry separation using a Knelson Concentrator” *Minerals Engineering*, vol:72, 73-86
- Lager, T., Forssberg, K.S.E., 1989. Beneficiation characteristics of antimony minerals a review- part 1, *Minerals Engineering*, Volume 2, Issue 3, 1989, Pages 321–336.
- Rubiera, F., Hall S., T., And Shah, C., L., 1997, “Sulfur Removal By Fine Coal Cleaning Processes” *Fuel* Vol. 76, No. 13, Pp. 1187-1194.
- Şahbaz, O., 2013. Determining optimal conditions for lignite flotation by design of experiments and the halfich upgrading curve, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, Cilt 49, Sayı 2 535-546.
- Uslu T., Sahioğlu E., Yavuz M., 2012. “Desulphurization and deashing of oxidized fine coal by Knelson concentrator” *Fuel Processing Technology*, vol: 101, 94–100.
- Yılmaz, O., Şahbaz, O., Uçar, A. and Çınar, M., Mikrodalga ile ısıtma, toplayıcı ve köpürtücünün düşük ranklı kömür flotasyonuna etkisinin istatistiksel analizi, *IMCET 2015, Antalya-Türkiye.*
- Zhou, M., Kökkılıç, Ö., Langlois, R., Waters K. E., 2016. “Size-by-size analysis of dry gravity separation using a 3-in. Knelson Concentrator” *Minerals Engineering*, 91, 42-54.



# Kuvars Zenginleştirme Tesisi Atıklarının Daralan Oluk ile Zenginleştirilmesinde Manyetik Alanın Etkisi

## *Effect of Magnetic Field on the Concentration of Quartz Concentrator Tailings by Pinched Sluice*

S. Yurtsever

*Esan Eczacıbaşı Çine Tesisi, Çine, Aydın*

T. Güler

*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Muğla*

**ÖZET** Kuvars cevheri ana renk verici safsızlıkları Fe- ve Ti-oksitlerdir. Bu safsızlıklar kuvarsa göre yüksek yoğunluk ve manyetik duyarlılığa sahiptir. Bu çalışmada, kuvars zenginleştirme tesisi atıklarından modifiye daralan oluk ile temiz kuvars konsantresi elde edilebilirliği araştırılmıştır ve yoğunluk ve manyetik duyarlılık farklılığının sinerjik etkisi test edilmiştir. Deneysel çalışmalardan, ayırıcı bıçak seviyesine bağlı olarak daralan oluktan düşük verimle de olsa temiz kuvars elde edilebileceğini ortaya koymuştur. Kuvars kazanım verimini artırmak amacıyla oluk altına REM mıknatıs içeren manyetik tabla yerleştirilmiştir. Manyetik tablanın sabit mesafede oluk altına yerleştirilmesi kuvars temizleme konusunda etkisiz kalmıştır: manyetik alan çizgileri boyunca eşikler oluşmuş ve tabakalaşma engellenmiştir. Manyetik tabla, dikey yönde dairesel olarak hareket ettirildiğinde renk verici Fe- ve Ti-oksitlerin pülp film tabakasının alt seviyelerinde toplandığı görülmüştür. Bu deneysel çalışma oluk altından değişken manyetik alan uygulandığında kuvars zenginleştirme tesisi atıklarından temiz kuvars konsantresi elde edilebileceğini ortaya konulmuştur.

**ABSTRACT** Main coloring impurities of quartz ores are Fe- and Ti-oxides. They have high density and magnetic susceptibility as compared with quartz. In this study, recover clean quartz concentrate from quartz processing plant tailings was investigated by using a modified pinched sluice, and synergic effects of density and magnetic susceptibility differences were tested. Experimental works revealed that clean concentrate could be obtained from pinched sluice depending on the level of splitter, but recovery left lower rates. Pinched sluice was modified to increase the quartz recovery rate mounting a magnetic table, having REM magnets in it, underneath the sluice. Mounting the magnetic table underneath at a constant distance was not effective on quartz cleaning: riffles appeared along magnetic field lines, and inhibit stratification. When magnetic table was rotated in a vertical path, coloring Fe- and Ti-oxide impurities concentrated at lower levels of flowing pulp film thickness. This experimental work exhibited that recovery of clean quartz from quartz processing plant tailings is possible by applying variable magnetic field underneath pinched sluice.

## 1 GİRİŞ

Kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) doğal olarak oluşmuş, yer kabuğunda bol miktarda bulunan bir mineraldir. Genel olarak seramik, cam ve döküm sanayinde kullanılmakla birlikte, inşaat, boya ve plastik sanayinde,

kimyasalların ve aşındırıcıların üretiminde de kullanılan endüstriyel bir hammaddedir (İpekoğlu, 1999; Önem, 1997).

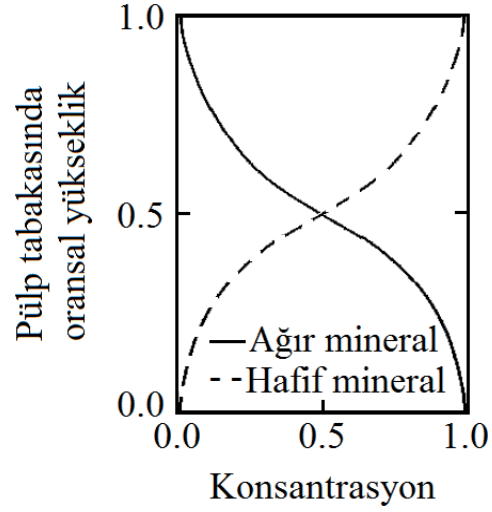
Uygulama alanları açısından kuvars cevheri kalitesini belirleyen en önemli safsızlıklar renk verici Fe ve Ti içeren

hematit, rutil, ilmenit gibi minerallerdir. Kuvars cevheri mineralojik bileşimi dikkate alındığında, özellikle yoğunluk farkı bu minerallerin belirgin fiziksel özelliğidir. Ama yüksek yoğunluklu bu renk verici minerallerin manyetik duyarlılıklarının da yüksek olması nedeniyle kuvars temizleme sürecinde yoğunluk farkı ile zenginleştirmeden ziyade manyetik ayırma ile zenginleştirme yöntemi yaygın olarak uygulanmaktadır. Kuvars cevherinin diğer bir safsızlığı olan feldspat minerallerinin ise kuvars ile karşılaştırıldığında belirgin yoğunluk ve manyetik duyarlılık farkı yoktur. Fe ve Ti minerallerine ilave olarak feldspat minerallerin özellikle ince boyutlarda temizlenmesinde ise flotasyon uygulanmaktadır (Al-Maghrabi, 2004; Hacıfazıloğlu, 2011; Hearn ve Sadowski, 2011; Özgen, 2008).

Kuvars zenginleştirme sürecinde farklı yöntemler uygulanarak bir taraftan temiz ürün alınırken diğer taraftan atık ürüne önemli miktarda kuvars gitmektedir. Çevresel kaygılar ve kaynakların etkin kullanılması gereği bu atıkların tekrar değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Kuvars tesis atıkları özellikle yüksek yoğunluklu manyetik Fe minerallerince zengindir. Dolayısıyla minerallerin yoğunluk farkı ve manyetik duyarlılık özelliklerini birlikte kullanarak düşük birim maliyetle atıkların değerlendirilebileceği fikri bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

Daralan oluk, en eski yoğunluğa dayalı (gravite) ayırıcılarından biridir. Oluk yüzeyine beslenen pülpün akışı ile birlikte, pülp tabakasının dikey kesitinde çok yoğun dan az yoğun tanelere doğru tabakalaşma gerçekleşir (Şek. 1). Pülp tabakası, ayırıcı bıçak ile alt akım ve üst akım olarak ayrıldığında yüksek yoğunluklu taneler alt akımda, düşük yoğunluklu taneler ise üst akımda alınarak birbirinden ayrılır (Ergün ve Ersayın, 2002; Polat vd., 2016; Sivamohan ve Forsberg, 1985). Düşük ilk yatırım ve işletme maliyeti olan daralan oluklar genellikle son ürünü almaktan ziyade ön-konsantre üretmek amacıyla tercih edilirler. Bu çalışma kapsamında daralan oluk ayırma verimini iyileştirmek amacıyla

REM mıknatıs kullanarak oluk yüzeyine manyetik alan uygulanmış ve modifiye edilen daralan oluk ile kuvars tesisi atığının geri kazanım olasılığı araştırılmıştır.



Şekil 1. İki bileşenli bir cevher için denge tabakalaşma profili (King, 1987, 2001)

## 2 MALZEME VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalar, Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Ticaret A.Ş. Çine tesis atık havuzundan alınan örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Atık örneği laboratuvar ortamında sınıflandırılarak 100-300 µm fraksiyonu yıkanmış ve deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Deney örneğinin karakterizasyonu XRD, SEM-EDS, XRF ve optik mikroskopi yöntemleri ile yapılmıştır. Örnek karakterizasyonu çalışmalarından deney örneğinin kuvarsa ilave olarak rutil, hematit, mika, feldspat ve kaolin içerdiği belirlenmiştir. Örneğin kimyasal bileşimi Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Deney örneği kimyasal analizi

	Tenör
SiO <sub>2</sub> , %	98,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	0,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ppm	930
TiO <sub>2</sub> , ppm	460
CaO, %	0,06
MgO, %	0,06
Na <sub>2</sub> O, %	0,16
K <sub>2</sub> O, %	0,20

Deneyleerde, 100 cm uzunluğunda 22 cm besleme, 3,5 cm ürün çıkış açıklığında ve 5 cm yan çeper yüksekliğinde krom saçtan yapılmış daralan oluk kullanılmıştır. Oluk daralma açısı  $10,57^\circ$ 'dir. Tüm deneysel çalışmada oluk eğimi  $17^\circ$ , pülp katı oranı %52,07 uygulanmıştır. Oluğa serbest taşıma yöntemi ile besleme yapılarak oluk yüzeyinde besleme noktasında pülp derinliğinin homojen olması sağlanmıştır. Oluğun ürün çıkış ucunda bir ayırıcı bıçak ile pülp, üst akım (konsantre) ve alt akım (artık) olarak ikiye ayrılmıştır. Aksi belirtilmediği sürece bıçak yüksekliği, pülp film kalınlığının %20'si olacak şekilde ayarlanmıştır.

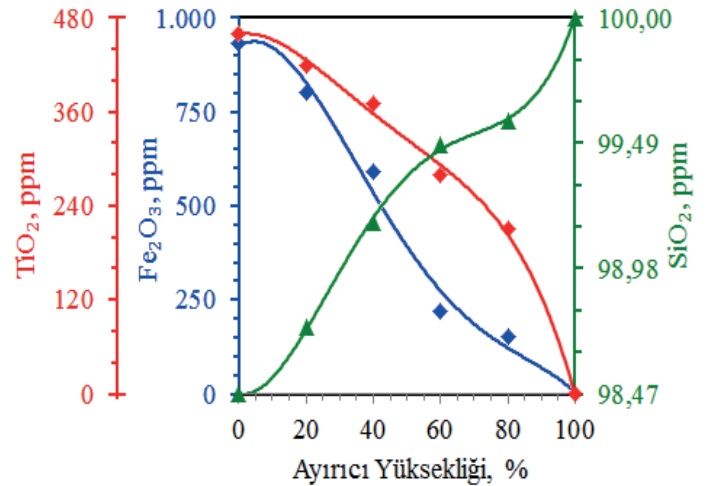
Safsızlıklar yüksek manyetik duyarlılığa sahip olduğundan zenginleştirme işleminde manyetik alanın etkisini belirlemek amacıyla oluk altına REM mıknatıslardan yapılmış bir manyetik tabla yerleştirilerek daralan oluk modifiye edilmiştir. Manyetik tablaya 10 cm çapında dikey dairesel hareket sağlayacak şekilde oluk altına bir düzenek kurulmuştur. Tablanın dikey düzlemde dairesel hareket hızı bir motor-invertör sistemi ile kontrol edilmiştir. Manyetik tablanın oluk yüzeyine uyguladığı manyetik alan şiddeti Magnetfeld-Tester PCE-MFM 3000 cihazı ile ölçülmüştür.

### 3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Daralan oluğun ürün çıkış ucuna, pülp filmini alt akım ve üst akım olarak ayırmak üzere oluk yüzeyine paralel ve seviyesi ayarlanabilen bölücü bıçak yerleştirilmiştir. Oluk çıkış ağzında yoğunluğu yüksek tanelerin alt tabakalarda yoğunluğu düşük tanelerin ise üst tabakalarda zenginleşmesi (Şek. 1) beklendiğinden dolayı ayırıcı bıçak seviyesi konsantre ve artık tenörlerini ve değerli kısım kazanım verimini belirleyecektir (Ergün ve Ersayın, 2002). Bu nedenle ayırıcı bıçak seviyesinin, renk verici Fe- ve Ti-oksitlerin kuvars cevherinden modifiye daralan olukta temizlenmesine etkisi deneysel olarak incelenmiştir (Şek. 2, Çiz. 2). Bıçak seviyesi ürün çıkış ağzında pülp film kalınlığının %20'sine ayarlandığında besleme  $Fe_2O_3$  tenörü 930

ppm'den ancak 800 ppm'e düşürülebilmştir. Daralan oluk ile zenginleştirme sonucu  $TiO_2$  tenöründe (420 ppm  $TiO_2$ ) ise önemli bir değişim gözlenmemiştir.

Bıçak seviyesinin artışı ile birlikte pülp kalınlığının %60'ına kadar Fe tenörü hızla düşmüş, bu değer üzerinde değişim düşük seviyede gerçekleşmiştir. Ti içeriğinde de benzer eğilim gözlenmekle birlikte sınırlı düzeyde kalmıştır. Fe- ve Ti-oksitler yüksek yoğunluklu olmalarına rağmen pülp kalınlığının %60 seviyelerine kadar önemli oranda konsantre kısım olan üst akımda alınmışlardır. Hematite ilave olarak tesis atığındaki diğer önemli Fe kaynağı mineral, düşük yoğunluklu tabaka şekilli mika mineralleridir. Mika mineralleri yapraklı yapıya sahiptir ve dolayısıyla tane yüzey alanları kuvars cevherindeki diğer eş boyutlu mineral tanelerinden büyüktür (Marchal, 2014). Bu nedenle türbülans ortamında pülpün daha üst seviyelerinde bulunması beklenir (King, 1987; Polat vd., 2016). Mika minerallerinin Fe içeriğinden dolayı konsantre Fe tenörünün yüksek çıktığı düşünülmektedir. Ayrıca bir kısım Fe minerallerinin de kuvars tanelerine bağlı olması ve dolayısıyla düşük serbestleşme oranı olasılığı da, yüksek bıçak seviyelerinde dahi yüksek Fe tenörünü açıklamaktadır.



Şekil 2. Ayırıcı bıçak yüksekliğinin konsantre  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  ve  $TiO_2$  tenörüne etkisi

Konsantre Ti içeriğinin yüksek bıçak seviyelerinde dahi düşürülememesi, rutilin yüksek oranda kuvarsa bağlı olmasıyla açıklanmıştır. Yüksek yoğunluğuna rağmen

rutil, bıçak seviyesi %20'den %80'e çıkarıldığında 420 ppm'den ancak 210 ppm'e düşürebilmiştir. Deneysel veriler değerlendirildiğinde en temiz kuvars konsantresinin en yüksek SiO<sub>2</sub> kazanımı ve

en düşük Fe ve Ti kazanımı ile %80 bıçak yüksekliğinde elde edildiği görülmektedir. Fakat bu koşullarda beslemenin ancak %13,58'i kazanılmıştır. SiO<sub>2</sub> kazanım verimi ise %13,73'de kalmıştır.

Çizelge 2. Ayırıcı bıçak yüksekliğinin konsantre SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> tenör ve verimine etkisi

Pülp Kalınlığı %	Konsantre %	Tenör			Verim		
		SiO <sub>2</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ppm	TiO <sub>2</sub> , ppm	SiO <sub>2</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	TiO <sub>2</sub> , %
20	74,87	98,74	800	420	75,08	64,54	68,34
40	52,40	99,17	590	370	52,77	33,24	42,05
60	32,19	99,48	220	280	32,52	7,54	19,92
80	13,58	99,58	150	210	13,73	2,23	6,33
20-40	22,48	97,74	1290	540	22,31	31,30	26,30
20-60	42,69	98,18	1240	520	42,56	57,00	48,42
20-80	61,30	98,55	950	470	61,35	62,31	62,02
40-60	20,21	98,68	1180	500	20,25	25,70	22,13
40-80	38,82	99,03	740	420	39,04	31,02	35,72
60-80	18,61	99,41	270	340	18,79	5,32	13,59
-20 (ARTIK)	25,13	97,67	1310	580	24,92	35,46	31,66

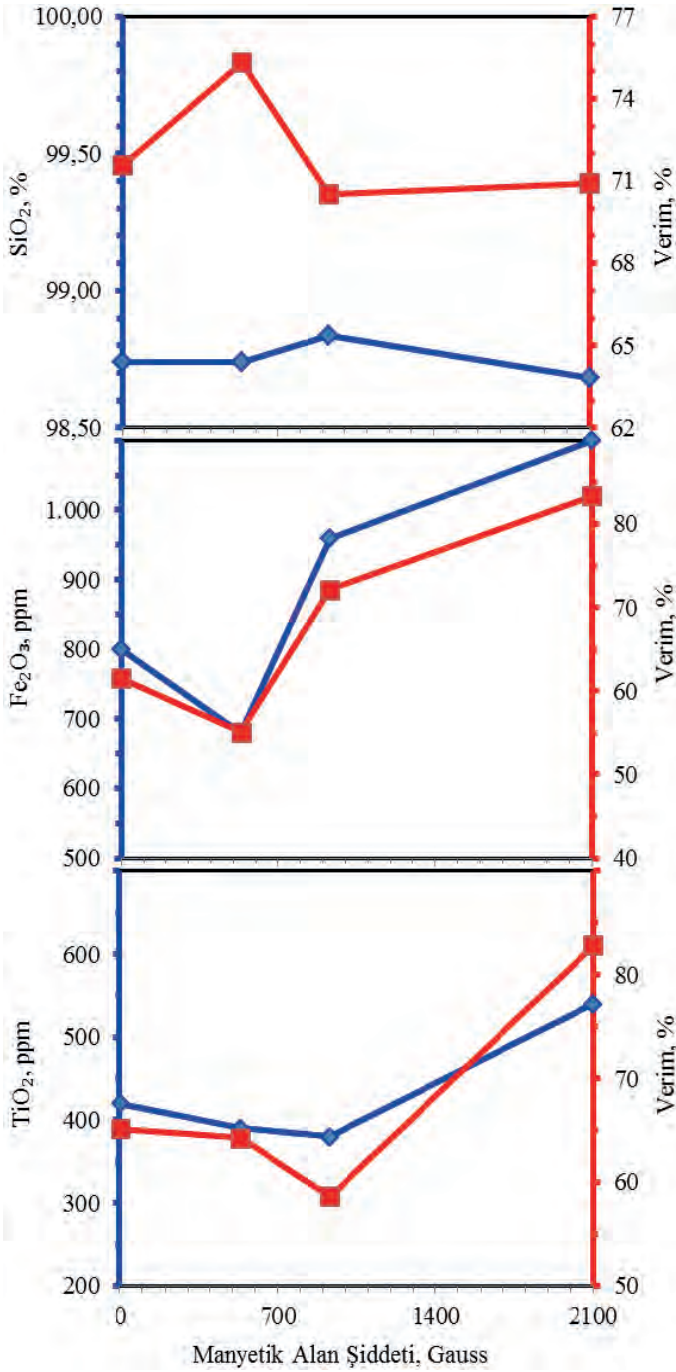
Kuvars cevheri renk verici kirleticileri olan Fe- ve Ti-oksitlerin paramanyetik mineraller olmaları nedeniyle akışkan ortamda kuvars örneğini temizleyebilmek için yer çekim kuvvetine ilave olarak oluk yüzeyine manyetik kuvvet uygulanmıştır. Bu amaçla REM mıknatıs içeren bir manyetik tabla ve bu tablanın konumunu belirleyen bir düzenek tasarlanmıştır. Bu düzenek aracılığıyla tablanın oluk altında belirli mesafede konumlandırılmasına veya dikey dairesel hareket yapmasına olanak sağlanmış ve böylece oluk yüzeyine uygulanan farklı manyetik alan şiddetleri test edilmiştir.

Öncelikle manyetik tabla oluk altında belirli mesafelerde sabitlenerek uygulanan sabit manyetik alan şiddetinin ayırmaya etkisi test edilmiştir (Şek. 3). Manyetik tabla ile daralan oluk arası mesafe 0,5 cm'ye ayarlandığında oluk yüzeyinde 2100 gaussluk manyetik alan şiddeti ölçülmüştür. Uygulanan bu kadar yüksek alan şiddeti nedeniyle oluşan manyetik alan çizgileri boyunca Fe- ve Ti-oksitlerin oluk yüzeyine yapışması sonucu eşikler oluşmuş ve oluk üzerinde akış düzeni bozulmuştur. Eşik, belirli bir kalınlığa geldiğinde akışa direnç gösteremeyen manyetik taneler, eşikten koparak oluktan örnek alma sürecinde

yüksek oranda üst akım (konsantre) üründe kazanılmıştır. Bu nedenle zenginleştirme işlemi, uygulanan manyetik alandan olumsuz etkilenmiştir. Manyetik tabla ile daralan oluk arası mesafe 1,5 cm'ye artırıldığında oluk yüzeyinde ölçülen manyetik alan şiddeti 930 gaussa düşmüştür. Fakat zayıf ta olsa eşik oluşması sonucu akış rejimi yine bozulmuş ve başarılı bir zenginleştirme yapılamamıştır. Manyetik tabla ile daralan oluk mesafesi 3,0 cm yapıldığında oluk yüzeyinde oluşan zayıf manyetik alan (535 gauss), akış rejimini bozmaya yetecek kadar yükseklikte eşik oluşturmamıştır. Dolayısıyla yerçekimine ilave olarak uygulanan manyetik alan ile yüksek yoğunluklu manyetik Fe-oksitlerin, akan pülp film tabakasının alt katmanlarında toplanması sonucu kısmi zenginleşme gerçekleşmiş, konsantre Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü 680 ppm'e kadar düşürülebilmektedir. Konsantre SiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub> tenörlerinde önemli bir değişim gözlenememiştir. Rutilin kuvars konsantresinden uzaklaştırılmaması serbestleşme oranının düşük olması ve rutilin kuvarsa bağlı hareket etmesi ile açıklanmıştır.

Manyetik tablanın sabit mesafede oluk altına yerleştirilmesi ile eşik oluşumu nedeniyle istenilen sonuçlar elde

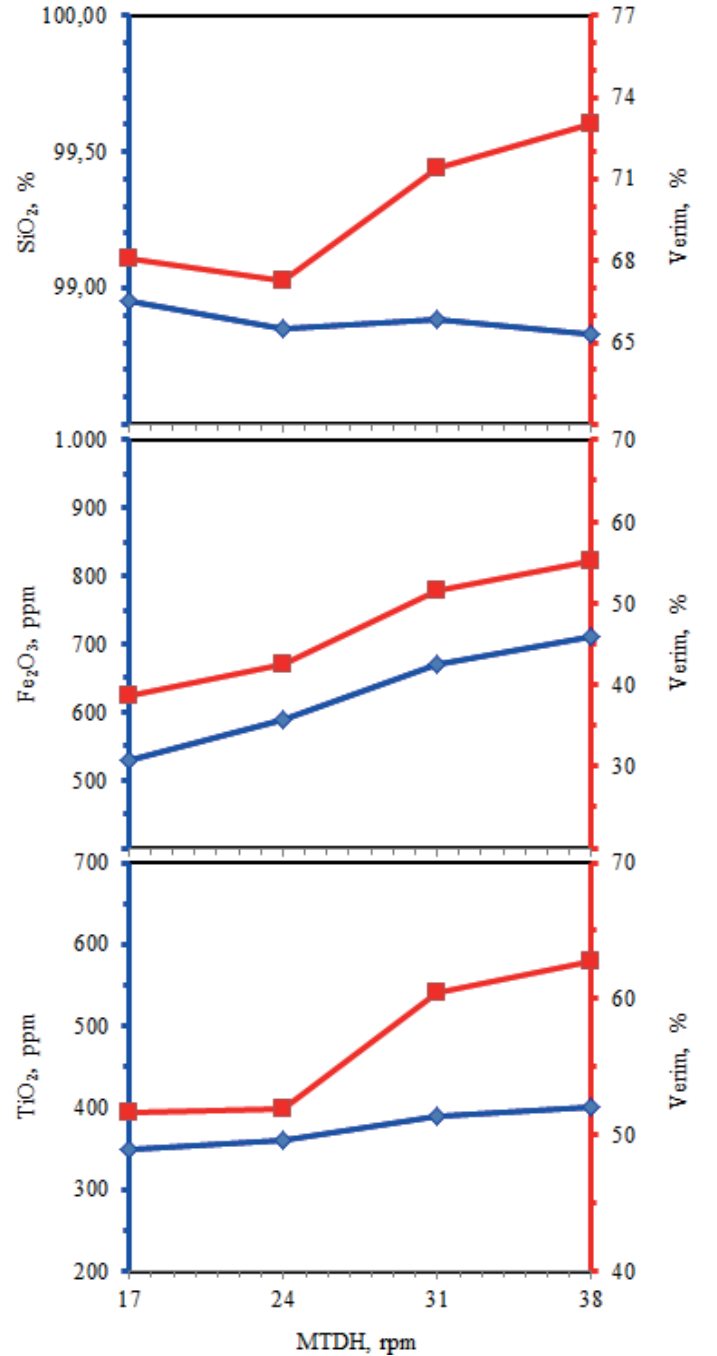
edilemediğinden tablaya dikey düzlemde 10 cm çaplı dairesel hareket sağlanmıştır. Böylece oluk yüzeyine değişken manyetik alan şiddeti uygulanarak eşik oluşumu önlenmiştir.



Şekil 3. Oluk yüzeyine uygulanan manyetik alan şiddetinin konsantrasyon  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiO}_2$  tenör ve verimine etkisi

Manyetik tabla dönüş hızının kuvars zenginleştirmesine etkisi Şekil 4'te verilmiştir. Dönüş hızının, konsantrasyon  $\text{SiO}_2$  tenör ve verimine etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. Fakat konsantrasyon kuvarstan demir oksitlerin

temizlenmesinde manyetik tabla dönüş hızının etkili olduğu, dairesel hızın düşüşü ile  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tenörü 710 ppm'den 530 ppm'e kadar düşmüştür. Yüksek hızlarda manyetik alan etkisi zayıflamış ve konsantrasyon  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tenörü manyetik alan uygulanmayan koşullardaki ayırma tenörüne (800 ppm  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yaklaşmıştır. Bununla birlikte manyetik tablanın dönüşü sonucu değişken manyetik alan uygulanmasıyla ayırma veriminde önemli iyileşme gerçekleşmiştir.



Şekil 4. Manyetik tabla dönüş hızının (MTDH) konsantrasyon  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiO}_2$  tenör ve verimine etkisi

Yapılan deneylerden dönüş hızının düşmesi ile ayırma veriminin arttığı gözlenmiştir. Düşük hızlarda manyetik tabla, daha uzun süre oluğa yakın mesafede veya uzak mesafede konumlanacağından dolayı manyetik alan, ayırma üzerinde daha fazla etkili olacaktır. Tablanın oluğa yakın olduğu konumlarda, manyetik tanelerin oluk yüzeyine yüksek manyetik alan şiddetiyle çekilmesi sonucu eşik oluşması sonucu tabakalaşmanın olumsuz etkilenebileceği düşünülebilir. Fakat manyetik tablanın uzaklaşması ile birlikte uygulanan manyetik alan şiddeti zayıflayacağından manyetik taneler akış ile birlikte alt tabakalarda serbest bir şekilde hareket edebilecekleridir. Dolayısıyla oluk altına yerleştirilen manyetik tablanın yeteri kadar uzun olması nedeniyle dikey düzlemde düşük dairesel hızlarda tabakalaşmada oluşabilecek anlık bozulma, her bir döngüde giderilebilecektir. Manyetik tablanın dönüş hızının yüksek olması durumunda ayırma veriminin azalmasının, tabla yüzeyine yeterli süreyle manyetik alan uygulanamamasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

## SONUÇLAR

Bir kuvars zenginleştirme tesisi atığı üzerinde yapılan modifiye daralan oluk ile atıkların değerlendirilmesi çalışmasından aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Deney örneği başlıca renk verici Fe ve Ti içeren safsızlıkları rutil, hematit ve mikadır.
- Ayırıcı bıçak seviyesini ayarlayarak daralan oluktan yüksek saflıkta kuvars konsantresi elde edilmesi mümkündür fakat kuvars kazanım verimi %20'yi aşamaz.
- Daralan oluk ürün çıkışına birden fazla ayırıcı bıçak yerleştirilerek farklı uygulama alanlarına yönelik değişik kalitede kuvars konsantresi üretimi mümkündür.
- Oluk altından sabit manyetik alan uygulanması, ayırma verimini olumsuz etkilemektedir: renk verici paramanyetik Fe- ve Ti-oksitler manyetik alan çizgileri boyunca oluk yüzeyine yapışarak eşik oluşturmakta ve tabakalaşmayı bozmaktadır.
- Oluk altından değişken manyetik alan uygulanması, yüksek yoğunluklu

manyetik kirlenici minerallerin etkin bir şekilde pülp film tabakasının alt katmanlarında zenginleşmesini sağlamaktadır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın yapılmasına olanak sağlayan Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (Proje No.2015/50) finansal desteğinden dolayı teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Al-Maghrabi, M.N.H., 2004. Improvement of low-grade silica sand deposits in Jeddah area. *JKAU: Engineering Science*, c.15(2), s.113-128.
- Ergün, L., Ersayın, S., 2002. Studies on pinched sluice concentration. Part 1: The effects of operating variables and sluice geometry on the performance of pinched sluices, *Minerals Engineering*, c.15, s.423-435.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2011. Silis kumunun zenginleştirilmesinde kullanılan yöntemler ve flotasyon ile manyetik ayırma yöntemlerinin demir giderimi bakımından karşılaştırılması, *Madencilik*, c.50(3), s.35-48.
- Hearn, S., Sadowski, J., 2011. *Advances in the Application of Spiral Concentrators for Production of Glass Sand*, Outotec Technology, 9s.
- İpekoğlu, B., 1999. *Kuvars, Kuvarsit, Kuvars Kum*, İstanbul Maden İhracatçılar Birliği, Türkiye Endüstriyel Mineraller Envanteri, İstanbul.
- King, R.P., 1987. A quantitative model for gravity separation unit operations that rely on stratification, *APCOM 87 Proceedings of the 20th International Symposium on Computers and Mathematics in the Mineral Industries*, vol. 2. S. Afr. Inst. Min. Metall., s.147-151.
- King, R.P., 2001. *Modelling and Simulation of Mineral Processing Systems*, Butterworth-Heinemann, 403 s.
- Marchal, K.L., 2014. *Geochemistry, Mineralogy and Evolution of Mica and Feldspar from within the Mount Mica Pegmatite*, Maine, USA, University of New Orleans, M.Sc. Thesis., 130 p.
- Önem, Y., 1997. *Sanayi Madenleri Tanımları, Doğada Bulunuşları, Dünya ve Türkiye Rezervleri, Yıllık Üretimleri, İhraç ve İthal Miktarları*, Ankara.

- Özgen, S., 2008. *Silikatların Flotasyonunda Mineral Özelliklerinin Flotasyon Başarısına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 112 s.
- Polat E., Aksoy, A.A., Bozkaya, A., Tunç., S., Küçükler, M., Güler, T., 2016. Use of pinched sluice in albite concentration, *20<sup>th</sup> Conference on Environment and Mineral Processing*, ISBN 978-80-248-3923-3, Ostrava, s.203-208.
- Sivamohan R., Forssberg E., 1985. Principles of sluicing, *International Journal of Mineral Processing*, c.15(3), s.156-171.

# Lösitin Manyetik Ayırıcı ile Zenginleştirilebilirliğine Tane Boyutunun Etkisi

## *The Effect of Particle Size on The Recovery of Leucite by Magnetic Separation*

A. Uçar, S. Karaca,

*Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Evliya Çelebi Yerleşkesi, Kütahya, Türkiye*

N. Derin Coşkun,

*Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Evliya Çelebi Yerleşkesi, Kütahya, Türkiye*

Y. Kibici,

*Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Evliya Çelebi Yerleşkesi, Kütahya, Türkiye*

V. Uz

*Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Evliya Çelebi Yerleşkesi, Kütahya, Türkiye*

**ÖZET** Lösit minerali içinde bulundurduğu yüksek miktardaki potasyum içeriği ile cam ve seramik endüstrisinin yanı sıra ileri teknoloji malzemelerin yapımında da önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle diş seramiği üretiminde sentetik lösit kendine geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Sentetik lösitin üretiminin uzun süreçler içermesi ve stokiometrik problemlerinden dolayı doğal lösitin kullanımını giderek önem kazanmaktadır. %7.51 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %1.14 TiO<sub>2</sub> içeren Afyon Bölgesi lösit hammaddesinin (lösitofir) yataktan alındığı haliyle kullanımı bu malzemeler için imkansızdır. Bu nedenle bu safsızlıkların hammaddeden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında -4+2, -2+1, -1+0.5 ve -0.5+0.25 mm boyut aralıklarında ve 30, 40 ve 50 d/d bant hızlarında yapılan deneylerde lösitin zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. -1+0.5 mm boyut aralığında yapılan deneyde 50 d/d bant hızında %22.07 K<sub>2</sub>O verimli konsantre elde edilmiştir. -0.5+0.25 mm boyut aralığında ve 50 d/d bant hızında yapılan deneyde elde edilen lösit konsantresinin ise %0.95 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerdiği belirlenmiştir.

**ABSTRACT** Leucite minerals has an important place in the production of high technology materials as well as glass and ceramics industry with its high content of potassium. Especially in the production of dental ceramics, synthetic leucite has found a wide utilization area. The use of natural leucite is increasingly essential due to the long process of synthetic leucite production and its stoichiometric problems. The leucites raw material of Afyon Region containing 7.51% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 1.14% TiO<sub>2</sub>, are impossible for directly use as extracted from nature as it is. Therefore, a number of enrichment procedures are required. In this study, the enrichability of the leucite obtained from the experiments at the size range of -4+2, -2+1, -1+0.5 and -0.5+0.25 mm and at 30, 40 and 50 rpm rate were investigated. Experiment on -1+0.5 mm size range and at 50 rpm rate was obtained with a concentrate rate of 22.07% K<sub>2</sub>O yield. Leucite liberalized with the support of its size reducing was acquired concentrate with 0.95% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> grade in the size range of -0.5+0.25 mm and at 50 rpm rotation rate.



## 1 GİRİŞ

Lösit ( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ ) silika bileşimi açısından fakir, potasyumca zengin genç volkanik bir mineraldir (Paukov vd., 2002).  $605^\circ\text{C}$  üzerinde kübik, bu sıcaklık değerinin altında ise tetragonal formdadır. Bu sıcaklık değişiminde %1.2 hacim genişmesi olmaktadır (Çelik ve Karakaya, 1988; Lange vd., 1986; Wyckoff, 1963).

Lösitin sentetik olarak kullanıldığı pek çok ileri teknoloji alanı bulunmaktadır. Ancak sentetik lösitin üretiminin uzun süreler içermesi ve stokiometrik sorunlar oluşturmasından dolayı doğal lösit giderek daha fazla kullanılmaya başlamıştır. Özellikle diş seramik uygulamalarında lösitin termal özelliklerinden faydalanılmaktadır (Cattell, 2006). Ayrıca, ince boyutlara öğütülmüş lösit kristalleri ile cam seramiğinin mekanik dayanım ve yarı saydamlığı artmaktadır (Chen vd., 2011; Theocharopoulos vd., 2013). Bu nedenle restoratif diş hekimliğinde cam seramikler estetik kaygı ya da hastalıklı dokunun uzaklaştırılması gibi nedenlerle kaybedilen diş dokusunun yerine kullanılmaktadır (Kelly, 1997).

Fabianelli vd. (2010), altlık ile kaplama arasındaki yapının davranışını inceleyerek, ticari olarak kullanılan seramik ve metal yüzeye seramik bazlı kaplamada dalösitin kullanılabilirliğini göstermiştir. Potasyum içeriğinin yüksektir ve kuvarsla kolay tepkimeye girerek düşük ergime sıcaklığında çalışma imkanı vermektedir. Dolayısıyla pişme sıcaklığının düşmesi gibi özellikleri ile cam, seramik, kaynak elektrodu, boya, elektroporselen gibi alanlar da lösitin kullanım alanı içine girmektedir (Denry ve Hollaway, 2010; Rasmussen vd., 2004).

Lösit, doğadan alındığı şekliyle ileri teknoloji alanlarda kullanıma uygun olmayıp zenginleştirme işlemleri yapılması gereklidir. Kullanım alanına göre ise

kimyasal bileşiminde farklı özellikler istenmektedir. Örneğin, ileri teknoloji ürünlerinde  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içeriğinin  $\%0.5 <$  olması, feldispatik diş seramiklerinin ise genellikle  $\%15-25$  oranında lösit içermesi gerekir (Meyer vd., 1976).

Lösit minerali üzerine yapılan çalışma sayısı sınırlı olmakla birlikte çoğunlukla pegmatit, trakit, granit gibi potasyum kaynağı olan kayalardan potasyum elde edilmektedir. Ayrıca, potasyum ile birlikte feldispat içerisinde bulunan safsızlıklar yüksek alan şiddetli yaş ya da kuru manyetik ayırıcılar kullanarak uzaklaştırılmakta ancak yeterli kalitede malzeme üretmek için manyetik ayırma sonrası flotasyon işlemi uygulanmaktadır.

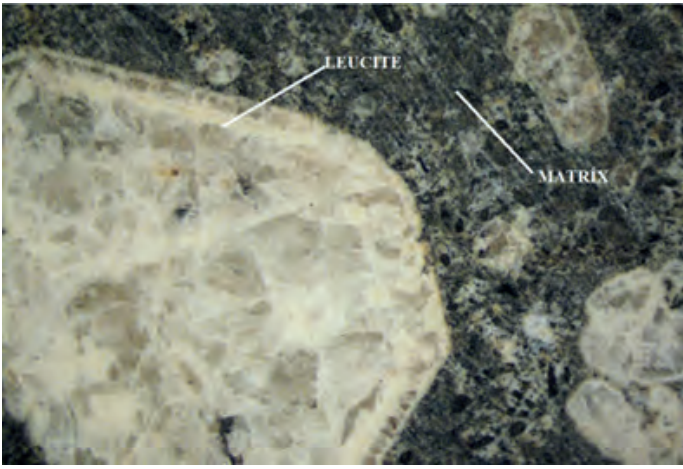
Gülsoy vd. (2005) düşük tenörlü pegmatitleri hem manyetik ayırma hem de flotasyon ile zenginleştirerek çeşitli tenörlerde feldispat konsantresi elde etmişlerdir. Yüksek alan şiddetli bantlı kuru manyetik ayırıcı kullanılarak yapılan deneylerde -1 mm, -0.5 mm ve -0.3 mm boyut aralıklarındaki malzemenin besleme hızı, bant hızı ve ayırıcı bıçağın konumu gibi farklı çalışma parametrelerinin konsantre tenörüne etkisi araştırılmıştır. Boyutun küçülmesi ile malzeme içinde bulunan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{TiO}_2$  miktarının azaldığı gözlenmiştir. Bozkurt vd. (2006), flotasyon ile zenginleştirme yaparak trakitten  $\%5.27$   $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\%0.321$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içerikli konsantre elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, Afyon bölgesi lösitofirleri içerisinde bulunan potasyumca zengin olan ve iri boyutta serbestleşen lösit mineralinin, istenmeyen  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 'ün uzaklaştırılması ile ileri teknoloji malzemelerde kullanılmaya uygun hale getirmek amacıyla yüksek alan şiddetli bantlı kuru manyetik ayırıcı ile zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır.

## 2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1 Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan lösitofir örnekleri Afyon-Şuhut bölgesi'nden alınmıştır (Şekil 1). Laboratuvara getirilen örnekleri önce çeneli kırıcı ile sonrada merdaneli kırıcı ile kapalı devre ve kademeli olarak 4 mm boyutunun altına indirilmiştir. Daha sonra numune deneylerde kullanılmak üzere eleklerle -4+2, -2+1, -1+0.5, -0.5+0.25 ve -0.25 mm boyut gruplarına ayrılarak saklanmıştır.



**Şekil 1.** Afyon Bölgesi lösitlerine ait binoküler mikroskop görüntüsü

Zenginleştirme deneylerinde laboratuvar tipi yüksek alan şiddetli kuru bantlı manyetik ayırıcı kullanılmıştır.

Saklanan boyut gruplarından (-4+2, -2+1, -1+0.5 ve -0.5+0.25 mm) ayrı ayrı temsili olarak alınan örnekler üç farklı hızda (30, 40 ve 50 d/d) çalıştırılan bant üzerine beslenerek deneyler yapılmıştır. Deneylerde manyetik alan şiddeti 10000 Gauss ve bıçak açısı 90°'de sabit tutulmuştur. İnce boyut (-0.25 mm) başka bir çalışmada kullanılmak üzere ayrılmıştır.

Elde edilen ürünlerin ve besleme numunelerinin kimyasal analizi Rigaku ZSX X-Ray Floresans cihazında yapılmıştır. Besleme numunesinin analiz değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Afyon Bölgesi lösit hammaddesinin (lösitofir) kimyasal analizi

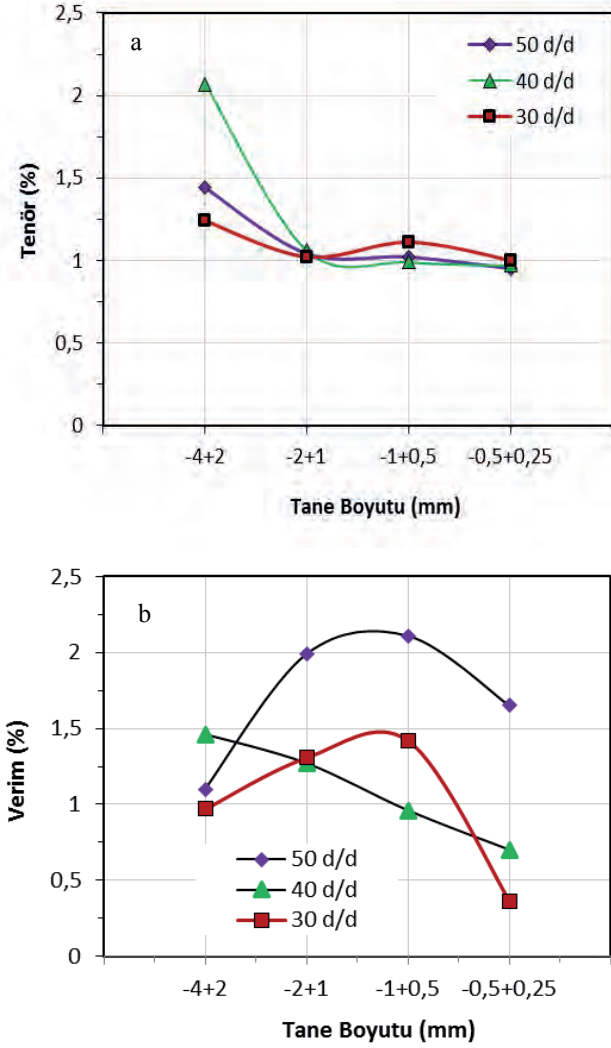
Bileşik	İçerik (%)
SiO <sub>2</sub>	52.76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.36
K <sub>2</sub> O	9.16
CaO	7.99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.51
Na <sub>2</sub> O	0.72
MgO	1.95
TiO <sub>2</sub>	1.14
SO <sub>3</sub>	0.21
A.Z.	2.00

### 2.2. Deneysel Bulgular ve Tartışma

Yapılan kimyasal analizlere göre (Tablo 1) lösit hammaddesi %7.51 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %1.14 TiO<sub>2</sub> içermektedir. Seramik ve cam sektöründe kullanılan malzemelerin kalitesi açısından konsantre içinde bu gibi safsızlıkların bulunması istenmemektedir. Bunların uygun ayırıcılar ile uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Burada hammaddenin yüksek demir minerali içeriğinden dolayı, işletme basitliği, iriden inceye çok geniş tane boyutu aralığında ekonomik olarak kullanılması manyetik ayırıcıların ön plana çıkarmaktadır. Dolayısıyla besleme tane boyutu manyetik ayırma için önemli parametrelerden biridir (Gülsoy vd., 2005). Bu amaçla çalışmada tane boyutunun verim ve tenöre etkisini belirlemek için farklı tane boyu gruplarında ve bant hızlarında deneyler yapılmıştır.

Deney sonuçlarına göre, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü tüm bant hızlarında -2+1 mm boyut grubuna kadar azalarak bu boyut grubundan sonra tüm bant hızlarında Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı %1 civarında kalmaktadır (Şekil 2a). Fakat %0.95 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü ile en düşük değer

-0.5+0.25 mm boyut aralığında ve 50 d/d şartlarında yapılan deneyde elde edilmiştir.

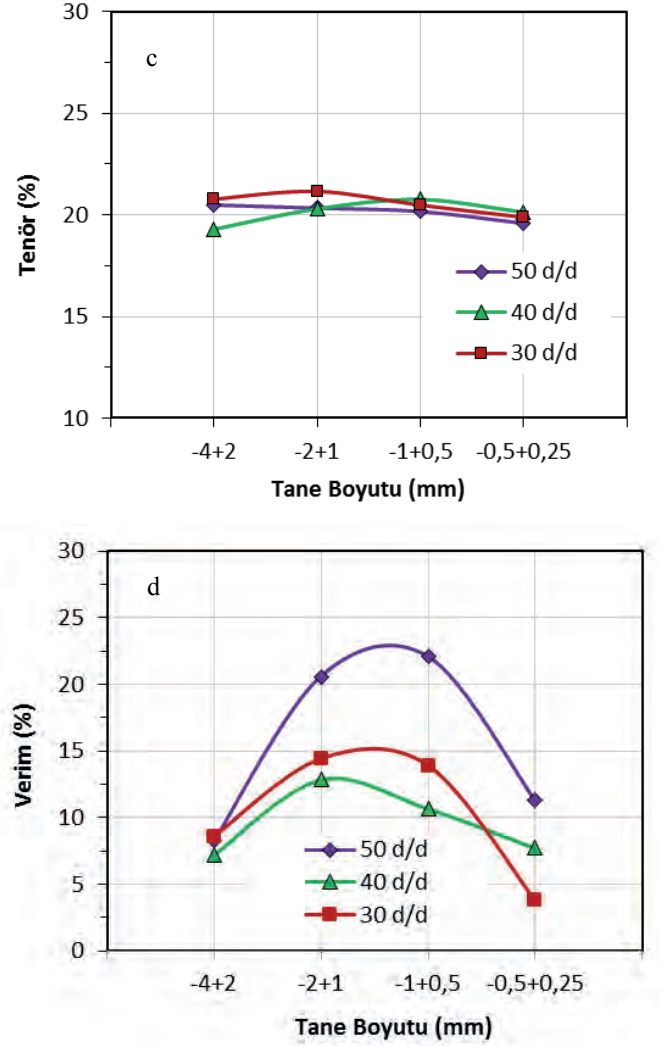


**Şekil 2.** Farklı bant dönüş hızlarında tane boyutunun  $Fe_2O_3$  tenörü (a) ve verimi (b) üzerine etkisi.

$Fe_2O_3$  uzaklaştırma veriminin ise 30 ve 50 d/d bant hızlarında -1+0.5 mm boyutuna kadar arttığı ve sonrada düştüğü, fakat 40 d/d hızında ise sürekli azalma eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 2b). Buradan da demirin bağlı olduğu gang minerallerinin 2 mm boyutunun altında büyük oranlarda serbestleştiği anlaşılmaktadır.

Tüm bant hızlarında tane boyutunun küçülmesine bağlı olarak  $K_2O$  tenöründe önemli bir değişiklik görülmemektedir. Bununla birlikte  $K_2O$  verimi önce artmış

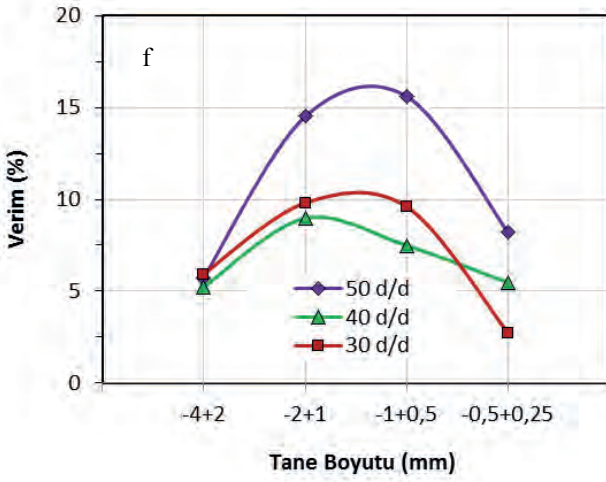
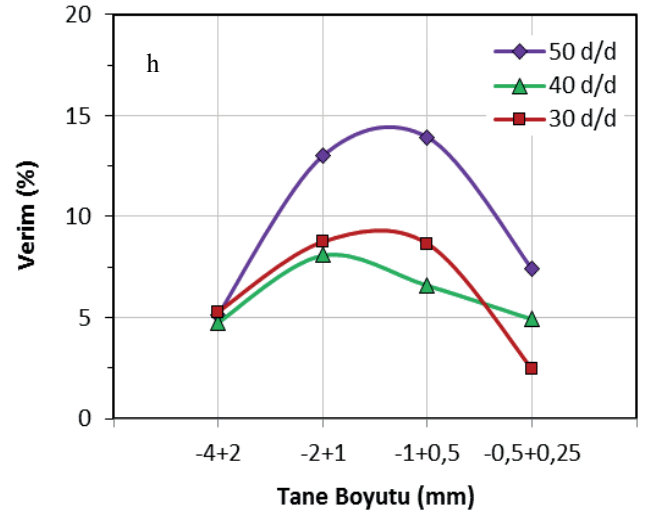
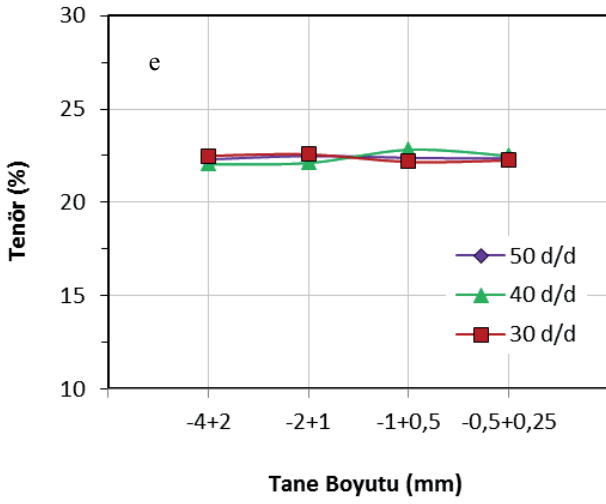
daha sonra yine azalmıştır (Şekil 3c ve d). -1+0.5 mm boyut aralığında 50 d/d'da yapılan deneyde %22.07  $K_2O$  verimi elde edilmiştir. Ancak bu şartlarda yapılan deneyin seçiciliği olmayıp artan bant hızı ile konsantreye daha fazla  $Fe_2O_3$  gitmiştir.



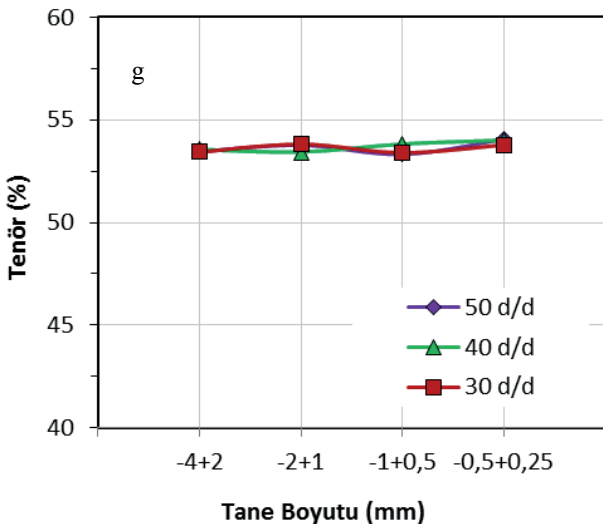
**Şekil 3.** Farklı bant dönüş hızlarında tane boyutunun  $K_2O$  tenörü (c) ve verimi (d) üzerine etkisi.

$Al_2O_3$  tenöründe de tüm tane boyutlarda önemli bir değişiklik görülmemektedir. Ancak, tane boyutunun küçülmesiyle  $K_2O$  verimindeki benzer eğilim  $Al_2O_3$  veriminde görülmektedir (Şekil 4e ve f).

Aynı şekilde  $SiO_2$  tenöründe ve verimindeki değişim  $K_2O$  ve  $Al_2O_3$  tenör ve verimiyle benzerlik göstermektedir (Şekil 5g ve h).



**Şekil 4.** Farklı bant dönüş hızlarında tane boyutunun Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörü (e) ve verimi (f) üzerine etkisi



**Şekil 5.** Farklı bant dönüş hızlarında tane boyutunun SiO<sub>2</sub> tenörü (g) ve verimi (h) üzerine etkisi

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> uzaklaştırma verimi açısından bakıldığında -0,5+0,25 mm boyut grubunda düşük bant hızlarında yapılan çalışmaya göre %0,36 uzaklaştırma verimi elde edilmiştir. Fakat diğer oksit verimlerinde oldukça yüksek düşüşler olmaktadır. Bu nedenle -2+1 mm boyut grubu ve 50 d/d bant hızı baz alınırsa %1.04 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %20.34 K<sub>2</sub>O, %22.48 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %53.78 SiO<sub>2</sub> tenörlü konsantre %1.99 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %20.6 K<sub>2</sub>O, %14.52 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %13.01 SiO<sub>2</sub> verimli olarak elde edilmektedir.

Deney sonuçlarına göre, K<sub>2</sub>O tenörünün ileri teknoloji malzemelerde kullanım için yeterli olduğu ancak Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörünün %0.5' in altına indiremediği görülmektedir.

Bozkurt vd. yaptıkları yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı ile lösitin kazanılmasına yönelik çalışmada Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğini %1'in altına düşürülemediğini bildirmişlerdir (Bozkurt vd., 2008). Ayrıca Uçar vd. yaptıkları lösitin manyetik ayırma ile zenginleştirme deneyinde de yine Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğini %1'in altına düşürülemediğini (Uçar vd., 2016).

### 3 SONUÇLAR

Lösit hammaddesinin (lösitifir) 10 000 gaus alan şiddetli bantlı manyetik ayırıcı ile zenginleştirilebilirliğine tane boyutu etkisinin araştırıldığı bu çalışmada;

Afyon bölgesi lösit hammaddesinin, kullanım için istenmeyen empürite olarak %7.51 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %1.14 TiO<sub>2</sub> içerdiği,

Bu empüritelerin büyük oranda gang içinde bulunduğu ve onlara manyetik özellik kazandırdığı,

Farklı tane boyut gruplarında (-4+2, -2+1, -1+0.5, -0.5+0.25 mm) yapılan manyetik ayırma deneylerine göre tane boyutunun ve bant hızının verim üzerinde oldukça etkili olduğu, Tenörde ise sadece Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerinde daha çok etkili olduğu,

-2+1, -1+0.5 mm tane boyutlarında bant hızının artışına bağlı olarak yüksek verimlere ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Aşağıdaki deney şartlarında lösit konsantresi;

Manyetik alan şiddeti, Gaus : 10 000

Bıçak açısı, derece : 90

Bant hızı, d/d : 40

Tane boyutu, mm : -2+1

- 1.04% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü ve 1.99% uzaklaştırma verimli ve
- Sırasıyla %20.6, %14.52 ve %13.01 verimleri ile %20.34 K<sub>2</sub>O, %22.48 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %53.78 SiO<sub>2</sub> tenörlü olarak elde edilmiştir.
- Elde edilen konsantre Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği bakımından ileri teknoloji malzemeleri için istenilen kalitede değildir.
- Fakat Türkiye de üretimi sınırlı olan yüksek K<sub>2</sub>O içerikli ürün elde edilmiştir.
- Bu elde edilen ürün geleneksel seramiklerde kullanılabilir. Ancak bu malzemenin kullanım alanlarını artırmak için Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğinin daha da azaltılması gerekmektedir.
- Ağırlıkca verim %10 civarındadır.

### TEŞEKKÜR

Bilimsel araştırma projeleri (BAP) 2016/11 no'lu proje kapsamında bu çalışmayı finanse eden Dumlupınar Üniversitesi yönetimine teşekkür ederiz.

### KAYNAKLAR

- Bozkurt, V., Uçbaş, Y., Koca, S and Ipek, H., 2006. "Recovery of feldspar from trachyte by flotation", Minerals Engineering, 19, 1216-1217.
- Bozkurt V., Uçbaş Y., Özdağ H., 2008. "Recovery of Leucite from Phonolite", Proc. 11th Intern. Mineral Proces. Sym., Belek-Antalya, Turkey, 21-23 October 2008.
- Cattell, M.J., 2006. "The Nucleation and Crystallization of Fine Grained Leucite Glass-Ceramics for Dental Applications", Dental Materials, 22, 925-33.
- Chen, X., Chadwick, T.C., Wilson, R.M., Hill, R.G. and Cattell, M.J., 2011. Crystallization and flexural strength optimization of fine-grained leucite glass-ceramics for dentistry", Dental Materials, 27, 1153-1161.
- Çelik, M., Karakaya. N., 1998. "Sistemetik Mineraloji", 201-203.
- Denry, I. and Holloway, A.J., 2010. "Ceramics for Dental Applications: A Review", Materials, 3, 351-368.
- Fabianelli, A., Pollington, S., Papacchini, F., Goracci, C., Cantoro, A., Ferrari, M., Noort, R.V., 2010. "The effect of different surface treatments on bond strength between leucite reinforced feldspathic ceramic and composite resin", Journal of Dentistry, 38, 39-43.
- Gülsoy, Ö.Y., Can, N.M. and Bayraktar, İ., 2005. "Production of potassium feldspar concentrate from a low-grade pegmatitic ore in Turkey", Mineral Processing and Extractive Metallurgy (Trans. Inst. Min. Metall. C), 114, 80-86.

- Kelly, J.R., 1997. "Ceramics in restorative and prosthetic dentistry", *Annual Review Material Science*, 27, 443-468.
- Lange, R. A., Carmichael, I. S. E., Stebbins, J. F., 1986. "Phase transitions in leucite ( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ ), orthorhombic  $\text{KAlSiO}_4$ , and their iron analogues ( $\text{KFeSi}_2\text{O}_6$ ,  $\text{KFeSiO}_4$ )", *American Mineralogist*, 71, 937-945.
- Meyer, J.M., O'Brien, W.J., Cu, Y., 1976. "Sintering of dental porcelain enamels". *J. Dent. Res.*, 55, 696-699.
- Paukov, I.E., Belitsky, I.A. and Fursenko, B.A., 2002. "Heat capacity and thermodynamic functions of leucite at low temperatures", *Thermochimica Acta* 387, 23-28.
- Rasmussen, S.T., McLaren, C.I. and O'Brien, W.J., 2004. "The Effect of Cesium-Containing Leucite Additions on the Thermal and Mechanical Properties of Two Leucite-Based Porcelains", *Journal of biomedical materials research. Part B, Applied Biomaterials*, 69, 195-204.
- Theocharopoulos, A., Chen, X., Wilson, R.M. and Cattell, M.J., 2013. "Crystallization of high-strength nano-scale leucite glass-ceramics", *Dental Materials*, 29, 1149-1157.
- Uçar, A., Uz, V., Derin Coşkun, N., Karaca, S., Akar, M., Kibici, Y., 2016. "Effect of Magnetic Field Intensity on The Recovery of Leucite Minerals by Magnetic Separation", *International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS) Book of Proceedings*, ISBN: 978-605-83575-0-1, 24-28 May 2016, Sarajevo, 2417-2421.
- Wyckoff, R.G.W., 1963. "Crystal Structures", 2nd ed. John Wiley & Sons, 4, 400-401.

# İzmir-Menderes Pomza Cevherinin Jig ve Sallantılı Masa ile Zenginleştirilmesi

## *Recovery of Izmir-Menderes Pumice Ore with Jig and Shaking Table*

E. Kılınç Aksay

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, İzmir*

A. Akar

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği, İzmir*

E. İ. Cöcen

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği, İzmir*

**ÖZET** Bu çalışmada, Menderes pomzalarının jig ve sallantılı masa ile zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla, üç ayrı tabakadan alınan Menderes pomzalarının fiziksel, kimyasal, mineralojik ve mikroskobik özellikleri belirlenmiştir. İnce boyutlarda serbestleşen Menderes pomzalarının birbirine yakın özellikler göstermesinin yanısıra zenginleştirme özelliklerinin de birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. 3-0,1 mm boyut aralığındaki Menderes pomzalarının ağırlıksal olarak yaklaşık %50'si jig ve sallantılı masalarla zenginleştirilerek hafif yapılı temiz pomza konsantreleri üretilmiştir. Özellikle sallantılı masa artıklarının %SiO<sub>2</sub> tenörünün belirgin bir oranda arttığı, bunun ise artığa kaçan silikatlı mineraller (pomza, perlit, albit, ortoklas gibi) yanında özellikle serbest silisten kaynaklandığı belirlenmiştir.

**ABSTRACT** In this study, the recovery of Menderes pumice ores with jig and shaking table was investigated. For this purpose, physical, chemical, mineralogical and microscopic properties of Menderes pumice ores taken from three different layers have been characterized. It has been determined that the enrichment properties of Menderes pumices liberated in fine size are close to each other as well as its structural properties. Approximately 50% (wt) of Menderes pumice ores in 3-0.1 mm were enriched by jig and shaking table and lightweight clean pumice concentrates were produced. In particular, it has been determined that the SiO<sub>2</sub> % grade of tailing produced from shaking table has a significantly increased due to especially free silica in addition to the silicate minerals (pumice, perlite, albite, orthoclase) in tailing.

## 1 GİRİŞ

Pomza, oldukça gözenekli ve hafif yapısı ile karakterize edilmektedir. Amorf alüminyum silikat olarak tanımlanan pomza, volkanik faaliyetler sonucu oluşmuş, volkanik cam yapısında ve süngerimsi bir kayadır (Sarıöz ve Nuhoglu, 1992). Pomzadaki gözenekler, genellikle bağlantısız boşlukludur. Bu

nedenlerle oldukça hafif, geçirgenliği düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir (Gündüz). Pomzadaki gözenekler, düzensiz ve küresel, oval, uzamış boru şeklindedir (Geitgey, 1994; Kılınç-Aksay, 2009).

Yaklaşık 18 milyar ton olan dünya pomza rezervinin; Amerika %63,9'una, Türkiye %15,8'ine ve İtalya ise %11,1'ine sahiptir (Elmastaş, 2012). Türkiye'deki rezervin

%50'si Bitlis'de, geri kalanı ise Kayseri, Nevşehir, Van, Kars, Ağrı, Isparta, Ankara ve İzmir'de bulunmaktadır (Gündüz, 1998; Kılınç-Aksay, 2005). Türkiye ve İtalya en fazla pomza üretimi yapan ülkelerdir. pomza, özellikle inşaat, tekstil, tarım, kimya ve abrasif sanayi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan bir endüstriyel hammaddedir (Kılınç-Aksay ve diğer., 2016).

Pomzanın gelişmiş ülkelerde kullanımı yeni değildir. Bu nedenle kaliteli pomza rezervleri azalmaktadır. Ayrıca pomzanın kullanımı yaygınlaşmakta dolayısıyla pomzaya olan talep artmaktadır. Pomza cevherlerinin zenginleştirilerek değerlendirilmesi hem kalite yönünden niteliğini, hem de katma değerini arttırması nedenleriyle önemlidir. Pomza, yan kayacıyla olan yoğunluk farkı nedeniyle iri boyutlarda jigler (Fink ve diğer., 2001; Neumann ve Grotjohann, 1998), ince boyutlarda ise sallantılı masa, spiraller ve konilerle zenginleştirilebilmektedir (Deniz, 2005, Kılınç-Aksay ve diğer., 2016). Davraz, (2005), Isparta Gelincik işletmesinde +3 mm tane boyutlu tüvenan pomzanın jig ile zenginleştirilmesiyle %65 oranında pomza (+3 mm) kazanılmakta, %35 oranında ise yabancı taş+kirlilik atıldığını söylemektedir. Deniz ve Umucu (2005a), Isparta Gelincik pomzasının yıkanabilirliğini ve Bendalari jiginin ayırma performansı araştırılmışlar, jigin ayırma performansının -12+3 mm tane boyutunda daha yüksek olduğu bulunmuştur. Yapılan diğer bir araştırmada (Deniz ve diğer., 2004; Deniz ve Umucu, 2005b; Umucu ve diğer., 2005) ise -50+30 mm, -30+20 mm ve -20+10 mm tane boyutuna sahip Isparta Karakaya pomzalarının orta yoğunluklu (pomza ve andezite göre) trakiandezit içermesi nedeniyle Nevşehir pomzalarına göre daha zor yüzdüğü ve jigle zenginleştirilmesinde etkin bir ayırma sağlanamadığı saptanmıştır. Benzer şekilde Kars yöresi ile yapılan yüzdürme batırma testlerinde ise Hırsızpınarı

pomzasının yüzebilirliğinin Tekçam pomzasına göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca aynı pomza örnekleri, Isparta ve Nevşehir pomzalarının zenginleştirildiği jiglerde zenginleştirildiğinde, farklı mineralojik yapıya ve serbestleşme tane boyutuna sahip olmaları nedenleriyle başarı sağlanamamıştır (Umucu ve diğer., 2008). Kılınç-Aksay (2005), İzmir-Menderes pomzasını çeşitli gravite (jig, sallantılı masa ve multi gravite separatörü) ve manyetik zenginleştirme yöntemleri ile daha kaliteli ve temiz pomza ürünleri haline getirmiştir.

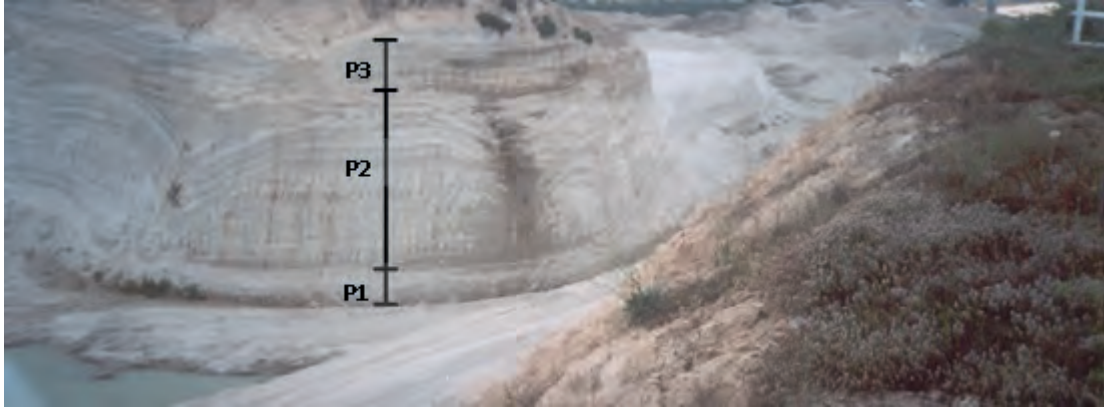
Bu araştırmada İzmir-Menderes pomza cevherlerinin jig ve sallantılı masa ile zenginleştirilmesi araştırılmıştır.

## 2 MALZEME VE YÖNTEM

Pomza numuneleri, Pomza Export Madencilik San. ve Tic. A.Ş.'ye ait İzmir-Menderes yöresinden temin edilmiştir. Bölgenin genel jeolojik yapısı içerisinde bulunan Miyosen yaşlı gölsel çökelleri bazen kesen, bazen de arada uyumlu olarak bulunan çoğunlukla taban konglomeralarını örten asidik vokanik riyolitler, riyolitik tüfler, pomza ve perlit ile temsil edilmektedir. Sahanın çevresinde bulunan riyolitler açık pembe renkli, kuvars, iri ortoklas ve albit oligoklas fenokristalli, yersel biyotitli ve mikrokristalen hamurludur (Özgenç, 1978).

Bu araştırmada, İzmir-Menderes yöresi pomza madeninin üretim sahasındaki üç ayrı tabakadan (Şekil 1) dikey kesit boyunca kanal numunesi şeklinde alınmıştır. Numuneler, P1 (alt tabaka), P2 (orta tabaka) ve P3 (üst tabaka) olarak adlandırılmıştır. Makroskobik gözlemler doğrultusunda alt (P1) ve üst (P3) tabakaların, orta (P2) tabakaya göre daha iri boyutlu pomza içerdiği söylenebilir.





Şekil 1. Pomza numunelerinin alındığı kesit

P1, P2 ve P3 kodlu Menderes pomza örneklerinin mikroskopik gözlemlere dayanarak -3 mm tane boyutu altında serbestleşme gösterdiklerini söylemek mümkündür. Dolayısıyla bu bulguya dayalı olarak örnekler çeneli kırıcı ile kırılıp, (-3+2 mm), (-2+1 mm), (1+0,5 mm), (-0,5+0,3 mm), (-0,3+0,1 mm) ve (-0,1 mm) tane boyutlarına eleme yoluyla sınıflandırılarak, zenginleştirme çalışmaları için hazırlanmıştır. (-3+2 mm) tane boyutuna sınıflandırılan pomza cevherleri tek kompartımanlı jig ile, (-2+1 mm) (1+0,5 mm), (-0,5+0,3 mm), (-0,3+0,1 mm) tane boyutlarına sınıflandırılan pomza cevherleri sallantılı masa ile zenginleştirilmiştir. Sonuçlar birleştirilmiş tablo olarak değerlendirilmiştir. -0,1 mm tane boyutlu

cevher ise hiç bir zenginleştirme işlemine tabi tutulmamıştır.

Mikroskopik görüntüler, Olympus SZ61 marka binoküler mikroskop kullanılarak elde edilmiştir.

### 3 DEĞERLENDİRMELER

#### 3.1 Menderes Pomzalarının Özellikleri

Menderes pomzalarının XRD analizlerinden elde edilen minerolojik bulgular Çizelge 1'de sunulmuştur. Çizelge 1'de sunulan bulguların yanı sıra her üç tabakada da camsı yapının hakim olduğu, alt tabakada (P1) camsı yapının daha fazla, orta ve üst tabakaların ise alt tabakaya göre daha kristalen yapıda olduğu XRD eğrilerinden yorumlanmıştır.

Çizelge 1. Menderes pomzalarının XRD analiz sonuçları

Sample	Mineral
P1	kuvars, ortoklas ve az miktarda plajiyoklas, klorit, biyotit, kaolen
P2	kuvars, ortoklas, plajiyoklas ve az miktarda biyotit
P3	kuvars, ortoklas, plajiyoklas ve az miktarda biyotit, montmorillonit

Menderes pomzalarının elek analiz ürünleri binoküler mikroskopla incelenmiştir. Her üç (P1, P2 ve P3) pomza örneğinde aglomere olmuş iri boyutlu pomza tanelerinin ana bileşim mineralinin kuvars tanecikleri olup, tüfle bağlanmış durumda olduğu görülmüştür. P1 örneği beyaz görünümlüdür ancak iri boyutlu pomza tanelerinin üzerinde noktacıklar halinde siyah renkli manyetitleri de gözlemlemek mümkündür. P2 örneği oldukça beyazdır. P3

örneğinde tüflerin bir kısmı sarımsak, bir kısmı da beyaz görünümündedir. Her üç örnekte de perlit tanelerine rastlanmaktadır. Empürite mineraller, serbest manyetit, demir oksit, mika, biyotit, obsidiyen taneleridir.

Menderes pomzalarının yığın yoğunlukları belirlenmiştir. P1 numunesinin yığın yoğunluğunun 1,00 gr/cm<sup>3</sup>, P2 numunesinin 1,14 gr/cm<sup>3</sup>, P3 numunesinin ise 1,10 gr/cm<sup>3</sup> olduğu bulunmuştur.

Sahadan alınan alt tabaka (P1), orta tabaka (P2) ve üst tabaka (P3) numunelerine yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’de görüldüğü gibi, her üç numunenin %SiO<sub>2</sub>, %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %CaO, %MgO, %Na<sub>2</sub>O ve %K<sub>2</sub>O tenörleri yönünden birbirlerine oldukça yakın kimyasal kompozisyonlara sahip olduğu, ancak %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörünün alt tabaka (P1) numunesinde %1,28, orta tabaka (P2) numunesinde %0,64, üst tabaka (P3) numunesinde ise %1,44 olduğu bulunmuştur.

Çizelge 3, -3 mm altına kırılan Menderes pomzalarının tane boyut dağılımlarını göstermektedir. Çizelge 3’de görüldüğü gibi, Menderes pomzalarının (P1, P2 ve P3) %10-11’i -3+2 mm, %64-65’i -2+0,1 mm, %24-25’inin de -0,1 mm tane boyutunda olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 2. Menderes pomza sahasından alınan örneklerin kimyasal kompozisyonu

Bileşim	P1	P2	P3
%SiO <sub>2</sub>	74,10	74,50	73,00
%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,00	12,00	12,53
%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,28	0,64	1,44
%CaO	0,64	0,49	0,61
%MgO	0,26	0,12	0,31
%Na <sub>2</sub> O	1,76	2,09	2,19
%K <sub>2</sub> O	3,85	4,96	4,36
%K.Kayıbı	4,99	5,04	5,53

Çizelge 3. Menderes pomzalarının tane boyut analiz sonuçları

Tane İriliği, mm	P1 % Ağ	P2 % Ağ	P3 % Ağ
-3+2	11,23	11,11	10,49
-2+0,1	64,38	63,92	64,86
-0,1	24,39	24,97	24,65
Toplam	100	100	100

### 3.2 Menderes Pomzalarının Jig ve Sallantılı Masa ile Zenginleştirilmesi

#### 3.2.1 Menderes Alt Tabaka Pomzası (P1)

Çizelge 4’de, (-3+2 mm) tane boyutuna sınıflandırılan Menderes alt (P1) tabaka pomzasının jigle zenginleştirme ürünlerinin tenör ve verim dağılımları sunulmuştur. Çizelge 4’de gösterildiği gibi, ağırlıksal olarak %11,23 dağılımlı ve %1,79 Na<sub>2</sub>O, %12,75 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %74,06 SiO<sub>2</sub>, %3,85 K<sub>2</sub>O ve %1,28 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör değerlerini içeren (-3+2 mm) tane boyutlu alt (P1) tabaka pomza cevherinin jigle zenginleştirilmesi ile %7,01 ağırlıksal oranında %2,38 Na<sub>2</sub>O, %14,41 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %71,85 SiO<sub>2</sub>, %4,67 K<sub>2</sub>O ve %0,87 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör değerlerine sahip konsantre, %83,17 Na<sub>2</sub>O, %70,57 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %60,55 SiO<sub>2</sub>, %75,63 K<sub>2</sub>O verimleri ile üretilmiş, empürite minerallerinde demir oksit mineralleri ise %57,44 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimle konsantreden uzaklaştırılabilmektedir.

Çizelge 4. Menderes alt (P1) tabaka pomzasının jig ile zenginleştirme sonuçları

Ürün.	% Ağ	% Na <sub>2</sub> O	% V	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V	% SiO <sub>2</sub>	% V	% K <sub>2</sub> O	% V	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V
Kons.	7,01	2,38	83,17	14,41	70,57	71,85	60,55	4,67	75,63	0,87	42,56
Artık	4,22	0,80	16,83	9,98	29,43	77,74	39,45	2,50	24,37	1,95	57,44
B.M	11,23	1,79	100	12,75	100	74,06	100	3,85	100	1,28	100

Çizelge 5. 2-0,1 mm tane boyutlu Menderes alt (P1) tabaka pomzasının sallantılı masa ile zenginleştirme sonuçları

Ürün.	% Ağ	% Na <sub>2</sub> O	% V	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V	% SiO <sub>2</sub>	% V	% K <sub>2</sub> O	% V	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V
Kons.	43,37	2,18	83,14	13,55	71,42	71,89	65,21	5,13	90,27	0,74	38,97
Ara Ü.	8,29	1,20	8,76	12,54	12,64	76,81	13,32	1,22	4,09	1,04	10,58
Artık	12,72	0,73	8,10	10,31	15,94	80,74	21,47	1,09	5,64	3,25	50,45
B.M	64,38	1,77	100	12,78	100	74,27	100	3,83	100	1,27	100

Çizelge 5’de sallantılı masa ile fraksiyonel olarak zenginleştirilen P1 pomza örneğinin birleştirilmiş sonuçları yer almaktadır. Çizelge 5’de, Menderes alt (P1) tabaka pomzasının ağırlıkça %64,38’i (-2+0,1 mm) tane dağılımlı olup, %1,77 Na<sub>2</sub>O, %12,78 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %74,27 SiO<sub>2</sub>, %3,83 K<sub>2</sub>O ve %1,27 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör değerlerinde saptanmıştır. (-2+0,1 mm) tane boyutlu alt tabaka pomza cevherinin fraksiyonel olarak zenginleştirilmesi ile toplam ağırlıkça %43,37 oranında ve %2,18 Na<sub>2</sub>O, %13,55 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %71,89 SiO<sub>2</sub>, %5,13 K<sub>2</sub>O ve %0,74 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü pomza konsantresi %83,14 Na<sub>2</sub>O, %71,42 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %65,21 SiO<sub>2</sub>, %90,27 K<sub>2</sub>O tenörlerinde üretilmiş ve de pomza konsantresinden empürite mineraller %50,45 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimiyle atılmıştır. Alt tabaka pomza cevherinin %12,72’si artık olarak atılırken, %0,73 Na<sub>2</sub>O, %10,31 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %80,74 SiO<sub>2</sub>, %1,09 K<sub>2</sub>O ve %3,25 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör değerlerine sahip olmuştur.

### 3.2.2 Menderes Orta Tabaka Pomzası (P2)

Çizelge 6’de (-3+2 mm) tane boyutuna sınıflandırılan Menderes orta (P2) tabaka pomzasının jigle zenginleştirme sonuçları sunulmaktadır. Çizelge 6’de gösterildiği gibi, ağırlıksal olarak %11,11 dağılımlı ve %1,97 Na<sub>2</sub>O, %11,92 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %73,87 SiO<sub>2</sub>, %4,86 K<sub>2</sub>O ve %0,6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör değerlerini içeren (-3+2 mm) tane boyutlu orta (P2) tabaka pomza cevherinin jigle zenginleştirilmesi ile %7,14 ağırlıksal oranında %2,22 Na<sub>2</sub>O, %12,65 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %72,32 SiO<sub>2</sub>, %5,88 K<sub>2</sub>O ve %0,4 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör değerlerine sahip konsantre, %72,43 Na<sub>2</sub>O, %68,18 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %62,92 SiO<sub>2</sub>, %77,79 K<sub>2</sub>O verimleri ile üretilmiş ve empürite minerallerinde demir oksit mineralleri ise %57,41 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimle konsantreden uzaklaştırılabilmiştir. Çizelge 6’de sallantılı masa ile fraksiyonel olarak zenginleştirilen P2 pomza örneğinin birleştirilmiş sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 6. Menderes orta (P2) tabaka pomzasının jig ile zenginleştirme sonuçları

Ürün.	% Ağ	% Na <sub>2</sub> O	% V	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V	% SiO <sub>2</sub>	% V	% K <sub>2</sub> O	% V	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V
Kons.	7,14	2,22	72,43	12,65	68,18	72,32	62,92	5,88	77,79	0,40	42,59
Artık	3,97	1,52	27,57	10,62	31,82	76,66	37,08	3,02	22,21	0,97	57,41
B.M	11,11	1,97	100	11,92	100	73,87	100	4,86	100	0,60	100

Çizelge 7. 2-0,1 mm tane boyutlu Menderes orta (P2) tabaka pomzasının sallantılı masa ile zenginleştirme sonuçları

Ürün.	% Ağ	% Na <sub>2</sub> O	% V	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V	% SiO <sub>2</sub>	% V	% K <sub>2</sub> O	% V	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V
Kons.	42,79	2,70	86,64	12,61	70,35	72,14	64,97	6,25	85,06	0,36	38,03
Ara Ü.	9,34	1,11	7,81	11,79	14,36	76,54	15,05	3,70	11,01	0,76	17,60
Artık	11,78	0,63	5,55	9,95	15,29	80,56	19,98	1,05	3,93	1,53	44,37
B.M	63,92	2,08	100	12,00	100	74,33	100	4,92	100	0,63	100

Çizelge 7’de sallantılı masa ile fraksiyonel olarak zenginleştirilen P2 pomza örneğinin birleştirilmiş sonuçları yer almaktadır. Çizelge 7’de, Menderes orta (P2) tabaka pomzasının ağırlıkça %63,92’si (-2+0,1 mm) tane boyutunda ve %2,08 Na<sub>2</sub>O, %12,00 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %74,33 SiO<sub>2</sub>, %4,92 K<sub>2</sub>O ile %0,63 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör değerlerinde bulunmuştur. (-2+0,1 mm) tane boyutlu orta tabaka pomza

cevherinin fraksiyonel olarak zenginleştirilmesi ile toplam ağırlıkça %42,79 miktarında, %2,70 Na<sub>2</sub>O, %12,61 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %72,14 SiO<sub>2</sub>, %6,25 K<sub>2</sub>O ve %0,36 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü pomza konsantresi %86,64 Na<sub>2</sub>O, %70,35 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %64,97 SiO<sub>2</sub>, %85,06 K<sub>2</sub>O verimleri ile üretilmiş, pomza konsantresinden empürite mineraller %44,37 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimiyle atılmıştır. Alt tabaka pomza

cevherinin %11,78'i artık olarak atılırken, %0,63 Na<sub>2</sub>O, %9,95 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %80,56 SiO<sub>2</sub>, %1,05 K<sub>2</sub>O ve %1,53 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör değerlerine sahip olmuştur.

### 3.2.3 Menderes Üst Tabaka Pomzası (P3)

Çizelge 8'de (-3+2 mm) tane boyutuna sınıflandırılan Menderes üst (P3) tabaka pomzasının jigle zenginleştirme sonuçları sunulmaktadır. Çizelge 8'de gösterildiği gibi, ağırlıksal olarak %10,49 dağılımlı ve %2,12 Na<sub>2</sub>O, %12,20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %72,49 SiO<sub>2</sub>, %4,27 K<sub>2</sub>O ve %1,36 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör değerlerini içeren

(-3+2 mm) tane boyutlu üst (P3) tabaka pomza cevherinin jigle zenginleştirilmesi ile %6,85 ağırlıksal oranında %2,46 Na<sub>2</sub>O, %12,80 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %71,15 SiO<sub>2</sub>, %5,11 K<sub>2</sub>O ve % 0,8 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör değerlerine sahip konsantre, %75,78 Na<sub>2</sub>O, %68,50 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %64,10 SiO<sub>2</sub>, %78,09 K<sub>2</sub>O verimleri ile üretilmiş ve empürite minerallerinde demir oksit mineralleri ise %61,44 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimle konsantreden uzaklaştırılabilmiştir. Çizelge 8'de sallantılı masa ile fraksiyonel olarak zenginleştirilen P3 pomza örneğinin birleştirilmiş sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 8. Menderes üst (P3) tabaka pomzasının jig ile zenginleştirme sonuçları

Ürün.	% Ağ	% Na <sub>2</sub> O	% V	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V	% SiO <sub>2</sub>	% V	% K <sub>2</sub> O	% V	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V
Kons.	6,85	2,46	75,78	12,80	68,50	71,15	64,10	5,11	78,09	0,80	38,56
Artık	3,64	1,48	24,22	11,08	31,50	75,02	35,90	2,7	21,91	2,40	61,44
B.M	10,49	2,12	100	12,20	100	72,49	100	4,27	100	1,36	100

Çizelge 9. 2-0,1 mm tane boyutlu Menderes orta (P3) tabaka pomzasının sallantılı masa ile zenginleştirme sonuçları

Ürün.	% Ağ	% Na <sub>2</sub> O	% V	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V	% SiO <sub>2</sub>	% V	% K <sub>2</sub> O	% V	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V
Kons.	44,45	2,72	85,23	13,18	73,04	69,79	65,63	5,65	88,84	0,79	37,81
Ara Ü.	7,99	1,38	7,77	12,05	12,02	75,07	12,70	2,46	6,97	1,06	9,20
Artık	12,41	0,80	7,00	9,66	14,95	82,52	21,67	0,95	4,19	3,94	52,99
B.M	64,86	2,18	100	12,37	100	72,88	100	4,35	100	1,42	100

Çizelge 9'de sallantılı masa ile fraksiyonel olarak zenginleştirilen P1 pomza örneğinin birleştirilmiş sonuçları yer almaktadır. Çizelge 9'de, (-2+1 mm), (-1+0,5 mm), (-0,5+0,3 mm) ve (-0,3+0,1 mm) tane boyutlarına sınıflandırılan Menderes üst (P3) tabaka pomzasının ağırlıkça %64,86'sı (-2+0,1 mm) tane boyutuna ve %2,18 Na<sub>2</sub>O, %12,37 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %72,88 SiO<sub>2</sub>, %4,35 K<sub>2</sub>O ve %1,42 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör değerlerinde sahiptir. (-2+0,1 mm) tane boyutlu alt tabaka pomza cevherinin fraksiyonel olarak zenginleştirilmesi ile toplam ağırlıkça %44,45 miktarında, %2,72 Na<sub>2</sub>O, %13,18 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %69,79 SiO<sub>2</sub>, %5,65 K<sub>2</sub>O ve %0,79 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü pomza konsantresi %85,23 Na<sub>2</sub>O, %73,04 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %65,63 SiO<sub>2</sub>, %88,84 K<sub>2</sub>O

tenörü ile üretilmiş, pomza konsantresinden empürite mineraller %52,99 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimiyle atılmıştır. Alt tabaka pomza cevherinin %12,41'i artık olarak atılırken, %0,80 Na<sub>2</sub>O, %9,66 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %82,52 SiO<sub>2</sub>, %0,95 K<sub>2</sub>O ve %3,94 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör değerlerine sahip olmuştur.

Çizelge 10'da jig ve sallantılı masa ile zenginleştirilen P1, P2 ve P3 örneklerine ait zenginleştirme ürünlerinin yığın yoğunlukları verilmiştir. Şekil 2'de, Menderes alt tabaka pomzasının (P1) jig (-3+2 mm; 0,8x) ve sallantılı masa (-0,5+0,3 mm; 2,5x) ile zenginleştirilmesi sonucu üretilen pomza konsantresi ve artığının mikroskopik görüntüleri örnek olarak sunulmaktadır.

Çizelge 10. Zenginleştirme ürünlerinin yığın yoğunlukları

Tane boyutu (mm)	Ürünler	Yığın Yoğunluğu, gr/cm <sup>3</sup>		
		P1	P2	P3
3-2	Kons.	0,67	0,89	0,79
	Artık	1,17	1,17	1,12
	BM	0,95	1,04	0,97
2-0,1	Kons.	0,85	1,05	1,00
	Ara Ü.	1,13	1,16	1,13
	Artık	1,32	1,27	1,29
	BM	1,00	1,14	1,10
-0,1	BM	1,05	1,24	1,22



Şekil 2. P1 pomza zenginleştirme ürünleri

#### 4 SONUÇLAR

Bu çalışmada İzmir-Menderes yöresine ait P1, P2 ve P3 olarak adlandırılan 3 ayrı örneğin jig ve sallantılı masa kullanılarak zenginleştirilmesi araştırılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir:

1. Menderes pomzalarının genel olarak kuvars, ortoklas, plajiyoklas, biyotit ve kil mineralleri içerdiği ve camsı bir yapıya sahip olduğu XRD analizleriyle belirlenmiştir. Mikroskobik incelemelere dayalı olarak, Menderes pomzalarının (P1, P2 ve P3) ana bileşim mineralinin kuvars tanecikleri olup, tüfle bağlanmış durumda olduğu görülmüş ve her üç örnekte de perlit tanelerine rastlanmıştır. Serbest manyetit, demir oksit, mika, biyotit, obsidiyen taneleri ise empürite mineraller olarak gözlenmiştir. P1, P2 ve P3

kodlu Menderes pomzalarının yığın yoğunluklarının birbirlerine yakın değerlerde oldukları (1,00 gr/cm<sup>3</sup>) belirlenmiştir. Ayrıca Menderes pomzalarının birbirlerine oldukça yakın kimyasal kompozisyonlara sahip olduğu, ancak %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörünün alt tabaka (P1) numunesinde %1,28, orta tabaka (P2) numunesinde %0,64, üst tabaka (P3) numunesinde ise %1,44 olduğu bulunmuştur.

2. P1, P2 ve P3 kodlu Menderes pomzalarının ağırlıksal olarak yaklaşık %50'si jig ve sallantılı masalarla zenginleştirilebilmiş ve aşağıda belirtilen değerlerde pomza konsantreleri üretilmiştir. Üretilen konsantrelerin (P1, P2 ve P3) yığın yoğunlukları ise jig konsantresi için sırasıyla 0,67 g/cm<sup>3</sup>, 0,89 g/cm<sup>3</sup> ve 0,79 g/cm<sup>3</sup>; sallantılı masa konsantresi için sırasıyla 0,85 g/cm<sup>3</sup>, 1,05 g/cm<sup>3</sup> ve 1 g/cm<sup>3</sup> olmuştur.

Ürün.	% Ağ	% Na <sub>2</sub> O	% V	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V	% SiO <sub>2</sub>	% V	% K <sub>2</sub> O	% V	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% V
Kons.	50,38	2,21	83,16	13,67	71,00	71,88	62,88	5,07	82,95	0,76	40,77
Artık	49,93	2,63	79,54	12,62	69,27	72,17	63,95	6,20	81,43	0,37	40,31

3. Sallantılı masa ile zenginleştirmeye tabii tutulan alt (P1) tabaka pomza cevherinin artığındaki %SiO<sub>2</sub> tenörünün belirgin bir oranda arttığı belirlenmiştir. Artıktaki %SiO<sub>2</sub>

tenör artışı, artığa kaçan silikatlı mineraller (pomza, perlit, albit, ortoklas gibi) yanında özellikle serbest silisten kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, Menderes pomza yatağının farklı görünümlü tabakalarından alınan üç ayrı pomza örneğinin yapısal özelliklerinin yanısıra jig ve sallantılı masa ile yapılan zenginleştirme özelliklerinin de birbirine yakın olduğu belirlenmiş ve yoğunluğa göre zenginleştirme yöntemleri kullanılarak (-0,1 mm hariç) temiz pomza konsantreleri üretilebilmiştir.

## KAYNAKLAR

Davraz, M., 2005. Isparta Gelincik Yöresi Pomzalarının Endüstriyel Önemi. (Ed.) L. Gündüz ve V. Deniz, 2. Pomza Sempozyumu, s.23-32, Isparta

Deniz, V. Umucu, Y., Yılmaz, İ., 2004. Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş.'nin Pomza Zenginleştirilme Tesisindeki Jig Performanslarının Değerlendirilmesi. (Ed.) A. Akar ve A. Seyrankaya, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s.307-312, İzmir.

Deniz, V., 2005. Pomzanın Ufalanma Özelliği ve Çok İnce Pomzanın Kullanımı. (Ed.) L. Gündüz ve V. Deniz, 2. Pomza Sempozyumu, s.51- 61, Isparta.

Deniz, V., Umucu, Y., 2005a. Isbaş A.Ş.'nin Yeni Kurulan Jig Zenginleştirme Tesisinin İlk Performans Sonuçları. (Ed.) L. Gündüz ve V. Deniz, 2. Pomza Sempozyumu, s.63-69, Isparta.

Deniz, V. , Umucu, Y., 2005b. Interpretation using sink-float data by simple recovery equations for two different pumices, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, Vol. 114, s.109-114.

Elmastaş, N., 2012. Türkiye ekonomisi için Önemi Giderek Artan Bir Maden: Pomza (Sünger Taşı), Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, Cilt 5, Sayı 23, s.197-206.

Fink H., Bruder, U., Kellner, G., 2001. Pumice Processing Based on The Example of Rotec's New Plant in The Neuwied Basin. Aufbereitungs Technik, 42(9), p.432-437.

Gündüz, L. (ed.), Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ. ve Çankıran, O., 1998. Pomza Teknolojisi (Pomza Karakterizasyonu), Cilt 1, s.285, Isparta.

Geitgey, R.P., 1994. Industrial minerals and rocks. 6. th Edition, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littleton, p.803-813, Colorado.

Kilinc-Aksay, E., 2005. İzmir-Menderes Yöresi Pomza Cevherinin Kullanımına Yönelik Teknolojik Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, s.278, İzmir.

Kilinc-Aksay, E., Akar, A., Cocen, I., Kaya, E., 2009. Technological Properties of Menderes-Izmir Pumice Ores, The Journal of Ore Dressing, Vol 11 (21), s.1-13.

Kilinc-Aksay, E., Akar, A., Cocen, I., 2016. Pomza Cevherinin Hazırlanması ve Zenginleştirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 16,384-390.

Neumann, T., Grotjohann, P., 1998. Pumice Processing in The Neuwied Basin with Alljig Air Pulsed Jigs. Aufbereitungs Technik, 39(5), p.234-238.

Özgenç, 1978. İzmir bölgesi perlit yataklarının jeolojisi ve petrolojisi, perlitlerin fiziksel, kimyasal ve genleşme özellikleri. DEÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Müh.Böl. Doktora Tezi, 190s, İzmir

Sarız K., Nuhuğlu İ., 1992. Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciligi, Anadolu Üniversitesi Yayını, Eskişehir.

Umucu, Y., Deniz, V., 2005. Isparta Yöresi (Karakaya) Pomzalarının Simülasyon ile Gravite Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması. (Ed.) L. Gündüz ve V.Deniz, 2. Pomza Sempozyumu, s.71-76, Isparta.

Umucu Y., Deniz, V., Çayırılı, S., 2008. Investigation of Gravity Beneficiation Possibilities by Simulation of Kars Pumice Using Sink-Float Results of Two Different Jig Plants, Proceeding of 11th International Mineral Processing Symposium, s.235-241, Antalya.

# Çözünmüş Hava Flotasyonu (CHF) Tekniği ile Talkın Tuzlu Sularda Yüzebilirliği

## *Flotability of Talc by Dissolved Air Flotation (DAF) Technique in Salt Solutions*

K. Çinku

*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fak., Maden Müh. Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul.*

G. Bekçi

*İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Beyazıt, İstanbul.*

O. Özdemir

*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fak., Maden Müh. Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul.*

**ÖZET** Flotasyon tekniği tüm dünyada yaygın olarak kullanılan zenginleştirme yöntemlerinin başında gelmektedir. Talkın sahip olduğu doğal hidrofobik yapısı sayesinde, grafit, taş kömürü, molibden ve kükürt gibi ender mineraller kollektör adı verilen kimyasal toplayıcı kullanmaksızın yüzebildiği bilinmektedir. Flotasyon yönteminde, kollektör ve köpürtücü adı verilen pahalı kimyasalların ve suyun niteliği büyük öneme sahiptir. Bu nedenle flotasyonda kullanılan kimyasal sarfiyatının azaltılması veya hiç kullanılmaması flotasyon tesislerinin işletim masraflarını büyük oranda düşürebilir. Çözünmüş hava flotasyonu (CHF) tekniğinin ince tane boyutundaki (-38 µm) malzemelere de uygulanabilmesi ince boyutlu artıkların değerlendirilmesine olanak verebilir. Ayrıca günümüzde hızla tükenen ve kirlenen su kaynakları göz önünde bulundurulduğunda flotasyon tesislerinde suyun çevrimi ve tuz içeriği yüksek kuyu suyu kullanımı zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada doğal hidrofobik minerallerden olan ince boyutlu talkın kollektör ve köpürtücü kullanmaksızın tuzlu sular (NaCl, ve MgCl<sub>2</sub>) içerisinde yüzebilirliği araştırılmıştır. Tuzlu sular varlığında laboratuvar ölçekli CHF ekipmanıyla yapılan flotasyon deneyleri sonucunda talkın flotasyon veriminde %14'lük artış elde edilmiş olup sonuçlar ışığında Na<sup>+</sup> ve Mg<sup>2+</sup> iyonlarının talk flotasyonuna etkisi ortaya konmuştur.

**ABSTRACT** Flotation is one of the widely used mineral processing methods where hydrophobic particles are separated from hydrophilic particles using air bubbles. Since some minerals such as talc, graphite, molybdenite, hard coal, and sulphur is naturally hydrophobic, it is possible to float them without collector. The effect of flotation chemicals such as collector and frothers which are very expensive, and the water quality is very important in the flotation method. For this reason, the decrease in the amount of these chemicals for the flotation method or even not to use any of these chemicals may reduce the cost of mineral processing. Dissolved air flotation (DAF) is a clarification process that can be used to remove particles. In addition, when water scarcity and contamination are considered, water circulation and use of bore water which contains a high amount of salt, will be essential for mineral processing plants in the future. In this context, the aim of this study was to investigate the flotation behavior of natural hydrophobic mineral talc in solutions (NaCl and MgCl<sub>2</sub>) without collector using a lab scale DAF. The flotation results showed that flotation yield of talc increased 14% in the presence of salt ions. Based on the results obtained from this study, it can be concluded the effect of dissolved ions such as Na<sup>+</sup> and Mg<sup>2+</sup> on talc flotation is ion specific.

## 1 GİRİŞ

Günümüzde flotasyon birçok mineralin zenginleştirilmesinde kullanılmasının yanı sıra biyoteknoloji (su arıtımı, gıda sanayi v.b.) gibi cevher hazırlama/zenginleştirme endüstrisinden çok farklı alanlarda da başvurulan temel ayırma proseslerinin başında gelmektedir. Flotasyon yöntemiyle sülfürlü metalik cevherlerin yanı sıra bütün oksitli mineraller ve metal olmayan mineraller zenginleştirilebilirler. Düşük tenörlü cevherleri herhangi bir yöntemle zenginleştirmek mümkündür, ancak flotasyon tesisinin kurulmasının kolay olması ve diğer yöntemlere oranla ekonomik olması nedeniyle flotasyon metodu tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Literatürde, özellikle taş kömürü gibi doğal hidrofobik minerallerin tuzlu sular (elektrolit solüsyonları) içerisinde kollektör ve köpürtücü kullanmadan yüzdükleri ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Flotasyonda çözünmüş iyonların solüsyon ve ara yüzeyleri etkileyerek, kabarcık ile taneler arasındaki kolloidal etkileşimleri değiştirmesi sebebiyle minerallerin flotasyonunu etkilediği bilinmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalar birçok teoriyi de beraberinde getirmiştir. Bu teorilerden biri inorganik elektrolitlerin kabarcık birleşmesini önlediğini, böylece kabarcık boyutunu düşürdüğü ve sayısını arttırdığı üzerinedir. Bu olayın kabarcık-tane yapışma olasılığını arttırdığı, köpük stabilitesi ve böylece flotasyon verimini arttırdığını söylenmektedir. Tuzlu suların kömür flotasyonunda büyük ilgi görmesinden dolayı, kömür gibi doğal hidrofobik karakterli minerallerden birisi olan talk için de tuzlu su ortamında çözünmüş hava flotasyon yapmanın mümkün olabileceği düşünülmüştür.

CHF flotasyonu tekniği esas olarak içme sularının iyileştirilmesi (Newcombe ve Dixon, 2006), atık suların geri kazanımı, cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisi atıklarının katı-sıvı ayırımının yapılarak proses suyunun tekrar sirkülasyonu, ağır metal ve anyonların uzaklaştırılması gibi

amaçlarla kullanılmasının yanı sıra son yıllarda bakır-nikel gibi metalik şlam cevherlerin geri kazanımı), ince boyutlu feldispat cevherlerinin zenginleştirilmesi, fosfat cevheri şlamlarının zenginleştirilmesinde ve ince boyutlu kuvarsın geri kazanımı gibi uygulamalarda da kullanılmaya başlanmıştır.

Çözünmüş hava flotasyonu taşıyıcı faz olarak mikro kabarcıkların kullanıldığı katı-sıvı veya sıvı-sıvı ayırma proseslerinin çok iyi şekilde sağlandığı bir uygulamadır (Feris ve Rubio, 1999). Çözünmüş hava flotasyonu sistemlerinde hava, suya uygulanan birkaç atmosfer basınç altında çözünür ve su hava ile doyurulur. Daha sonra sudan basınç kaldırılarak su atmosfer basıncına getirilir. Bu esnada açığa çıkan hava kabarcıkları flotasyon işlemini gerçekleştirir (Edzwald, 1995; Rykaart and Haarhoff, 1995; Eckenfedersor, 2000)

Flotasyon işlemi tüm dünyada yaygın bir şekilde kullanılan zenginleştirme yöntemlerinin başında gelmekte olup proses esnasında önemli miktarda su tüketilmektedir. Günümüzde su kaynaklarının giderek azaldığı ve flotasyon işleminin kollektör kullanılmaksızın gerçekleştirilerek su kirliliğine sebebiyet verilmeyeceği göz önünde bulundurulduğunda çevre ve cevher hazırlama/zenginleştirme endüstrisine önemli bir katkı sağlanması da amaçlanan bir diğer unsur olmuştur. Ayrıca cevher hazırlama ve zenginleştirme endüstrisinde şlam olarak tabir edilen ve atık barajlarına gönderilen 38 µm'dan daha küçük boyuttaki mineral tanelerinin değerlendirilmesi de mümkün olacaktır.

Bu çalışmada doğal olarak hidrofob karaktere sahip olan ince boyutlu talkın toplayıcı kullanılmaksızın yüzdürülmesi, Na<sup>+</sup> ve Mg<sup>+2</sup> gibi iyonlarının varlığının flotasyonuna etkisinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, talkın tuzlu sular varlığında yüzebilirliği CHF flotasyonu deneyleri yapılarak ortaya konmuştur.



## 2 MALZEME VE YÖNTEM

Deneyisel çalışmalarda kullanılan talk numunesi İstanbul-Tuzla bölgesinde faaliyet gösteren ERC Minerals firmasından temin edilmiştir. Değirmen çıkışı olan talkın üst boyutu ortalama 2 mm olup alt boyutu ise -38  $\mu\text{m}$ 'dur. Flotasyon deneyleri Ofite marka CHF cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Deneyisel çalışmalar esnasında kullanılan numuneler, tamamı tüvenan haldeki doğal hidrofob karaktere sahip talk olup CHF tekniği kullanılarak yüzeyliliklerine çözülmüş iyonların etkisi incelenmiştir.

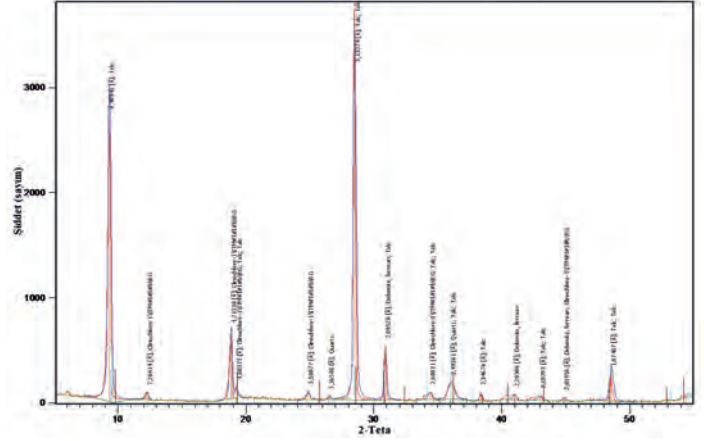
CHF deneylerinde kullanılacak talk'ın yapısal özelliklerinin belirlenmesi için yapılan karakterizasyon çalışmalarında, kimyasal analiz, XRD, DTA/TG yöntemleri ve bunlara ek olarak zeta potansiyeli ve temas açısı ölçümleri kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan talk'a hem kalitatif hem de kantitatif analizler yapılmış olup sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Talkın kimyasal analiz sonuçları

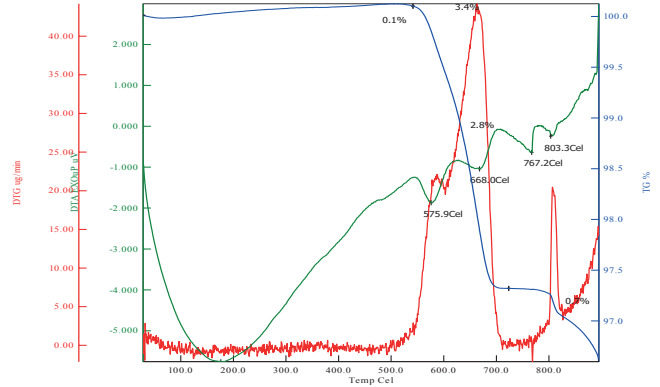
BİLEŞEN	Miktar (%)
SiO <sub>2</sub>	59,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,41
MgO	31,68
CaO	1,39
Na <sub>2</sub> O	<0,01
K <sub>2</sub> O	<0,01
TiO <sub>2</sub>	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15
MnO	0,02
LOI	6,32

XRD analizleri SHIMADZU XRD-6000 cihazı ile 2°-70° aralığında, 20/dk. tarama hızıyla Cu X-Işını tüpü kullanılarak yapılmış olup Şekil 1'de talkın XRD kırınım deseni verilmiştir.



Şekil 1. Talkın XRD kırınım deseni

Talk numunelerinin DTA analizleri SEIKO SII DTA/TG 6300 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bütün ölçümler 20 mg numune kullanılarak, 25-800°C aralığında 10°C/dk ısıtma hızında azot varlığında gerçekleştirilmiştir. Talk numunelerinin DTA/TG analizleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Talkın DTA/TG analiz sonuçları

Şekil 2'den görüldüğü gibi 500-700°C arasında meydana gelen %3,4 ağırlık kaybı talkın kristal suyunu kaybetmesinden kaynaklanmaktadır.

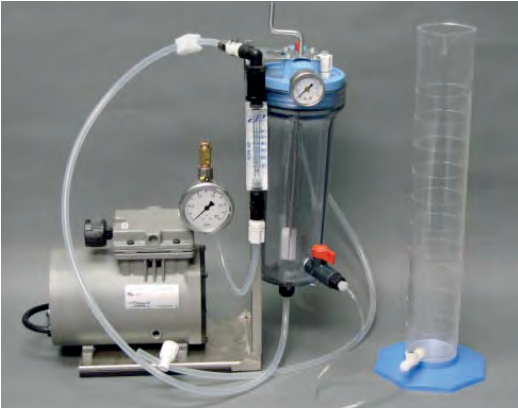
Talkın elektrokinetik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen zeta potansiyel ölçümleri, mikro işlem donanımlı mikroeletroforesis yöntemi ile çalışan, voltaj ve tane hızını dikkate alarak, zeta potansiyel değerini otomatik olarak hesaplayabilen Brookhaven Zeta Plus cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm işlerinde gerilim, iletkenliğe bağlı olarak ayarlanmıştır. Tüm deneylerde pH ölçümleri Hanna HI 221 marka pH metre ile yapılmıştır. Gerektiğinde

pH ayarlayıcı olarak da 0,1 M HCl ile 0,1 M NaOH kullanılmıştır. pH'ya bağlı zeta potansiyel ölçümlerinde ölçüm öncesi ve sonrası pH değerleri ölçülerek, denge pH'sı olarak ölçüm sonrası pH değeri dikkate alınmıştır. Deneylerin oda sıcaklığında ( $25 \pm 2$  °C) yapılmasına özen gösterilmiştir.

Talk numunelerinin temas açısı ölçümleri KSV Attension Theta Lite yüzey gerilimi ölçüm cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Flotasyon deneyleri ise Şekil 3'de gösterilen laboratuvar ölçekli Ofite CHF düzeneği kullanılarak optimum basınç, tane boyutu, kabarcık giriş hızı değerleri belirlenmiştir. CHF deneyleri 10-20-30-40-50-60-70 psi basınç, 212, 150, 106, 38 µm tane boyutu değerlerinde yapılmıştır.

Deneyisel çalışmalar kapsamında kullanılan tüvenan talk numunelerinin tamamı agat havanlı Retch öğütücü yardımıyla 500 µm tane boyutunun altına öğütülmüştür.



Şekil 3. Deneyisel çalışmalarda kullanılan CHF flotasyonu ünitesi

Tane boyutunun küçültülmesi işlemi sonrasında en uygun basıncı belirlemek amacıyla %1 pülpte katı oranında (PKO), 106 µm tane boyutundaki numuneyle 700 mL hacimde hazırlanan süspansiyonlar 10-20-30-40-50-60-70 psi basınç altında CHF düzeneği ile flotasyona tabi tutulmuştur.

Optimum basınç değerinin belirlenmesiyle en uygun tane boyutunu belirlemek amacıyla %1 PKO da, 700 mL hacimde, 212, 150, 106, 38 µm boyutlarında numunelerle hazırlanan süspansiyonlar uygun basınç altında CHF düzeneği ile flotasyona tabi tutulmuşlardır.

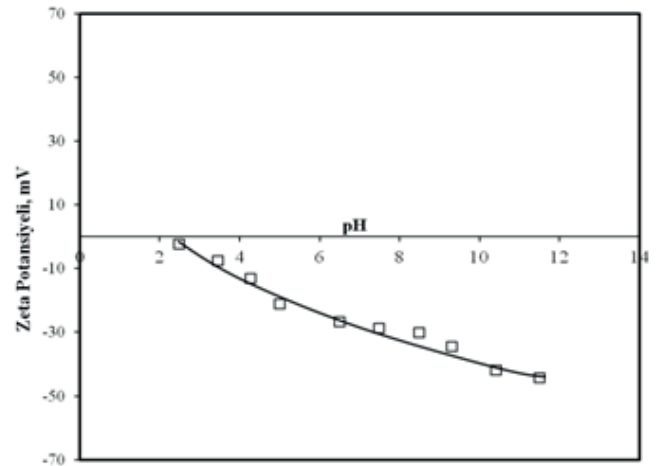
Optimum basınç ve tane boyutunun belirlenmesiyle kabarcık giriş hızını belirlemek amacıyla %1 PKO'da, 700 mL hacimde, uygun basınç ve tane boyutunda hazırlanan süspansiyonlar cihazın ayar vanası yardımıyla 4 farklı hızda CHF düzeneği ile flotasyona tabi tutulmuştur.

Talkın CHF tekniğinde çözünmüş iyonlar varlığında göstermiş olduğu yüzebilirlik değerlerinin belirlenmesi amacıyla %1 PKO'da olacak şekilde NaCl ve MgCl<sub>2</sub> ile  $1.10^{-3}$ ,  $1.10^{-2}$ ,  $1.10^{-1}$ , ve 1M konsantrasyonlarda gerçekleştirilmiş ve CHF düzeneği ile flotasyon gerçekleştirilmiştir. Flotasyon sonucunda yüzen ve batan ürünler ılık suyla 3 kez yıkanarak vakum yardımıyla filtreden geçirilmiş ardından etüve konularak kurumaya bırakılıp tartılmış ve % verim değerlerine ulaşılmıştır.

### 3 BULGULAR

#### 3.1 Zeta Potansiyeli Ölçümleri

Talk mineralinin tuzlu su içerisindeki elektrokinetik davranışını ortaya koyabilmek amacıyla gerçekleştirilen zeta potansiyeli ölçümlerinde %0,1 pülp yoğunluğunda hazırlanan numuneler kullanılmıştır. Talkın pH'ya bağlı zeta potansiyel değişimi Şekil 4'de verilmiştir.

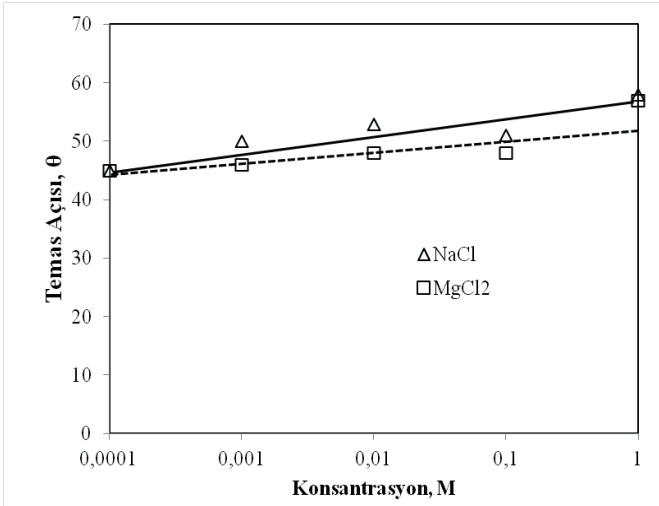


Şekil 4. pH'ya bağlı zeta potansiyel değişimi

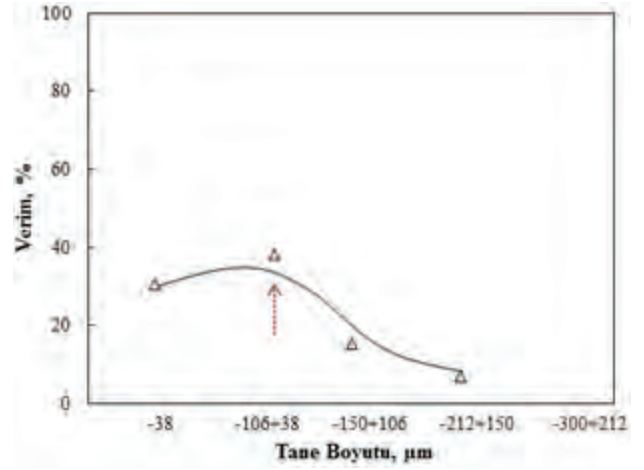
Şekil 4'de görüldüğü gibi talk tüm pH değerlerinde negatif yüzey yüke sahiptir. Doğal pH'da ise -30 mV civarında zeta potansiyele sahiptir.

#### 3.2 Temas Açısı Ölçümleri

NaCl ve MgCl<sub>2</sub> konsantrasyonlarına bağlı temas açısı ölçümleri Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Tuz konsantrasyonu-temas açısı ilişkisi



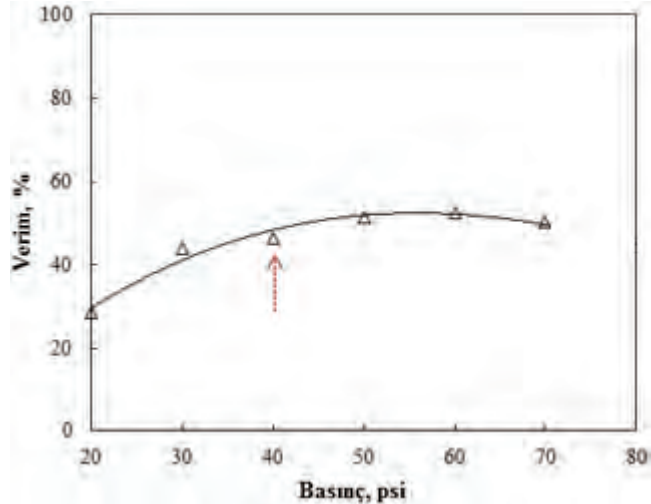
Şekil 7. Optimum tane boyutu deneyleri

Şekil 7'de görüldüğü üzere en uygun tane boyut aralığı -1064 + 38 µm olarak belirlenmiştir.

### 3.3 CHF Optimizasyon Deneyleri

#### 3.3.1 Optimum Basınç Deneyleri

Optimum basıncın belirlenmesine yönelik yapılan deneyler Şekil 6'da verilmiştir. Sonuçlardan görüleceği üzere flotasyon verimleri 40 psi değerinden sonra sabit kalmıştır. Bu sonuçlar ışığında optimum basınç değeri sonraki deneyler için 40 psi olarak seçilmiştir.



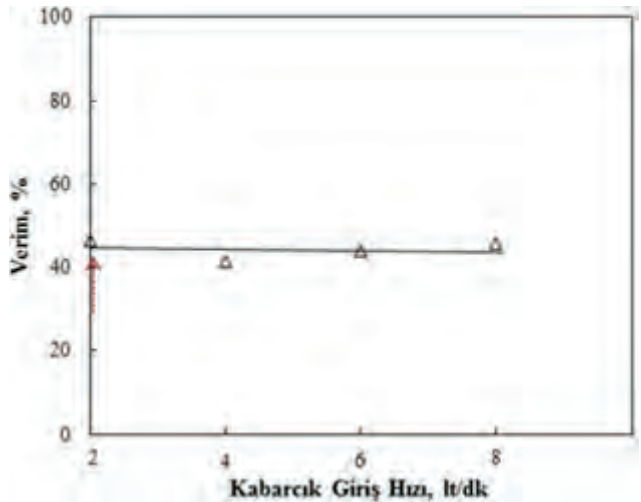
Şekil 6. Optimum basınç deneyleri

#### 3.3.2 Optimum Tane Boyutu Deneyleri

Optimum tane boyutunu belirlemek amacıyla farklı tane boyut gruplarında flotasyon deneyleri yapılmış olup sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir.

#### 3.3.3 Optimum Kabarcık Giriş Hızı Deneyleri

Optimum basınç ve boyut deneylerinde ulaşılan sonuçlar ışığında kabarcığın flotasyon ünitesine giriş hızını belirlemek için çeşitli deneyler yapılmıştır. Kabarcık giriş hızı deneyi sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.



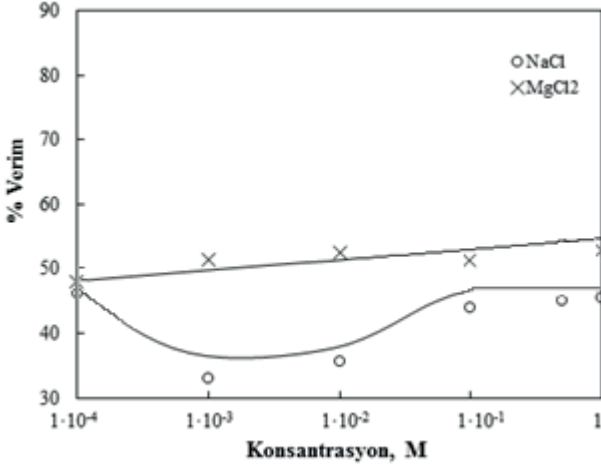
Şekil 8. Kabarcık giriş hızı deneyleri

Şekil 8'de görüldüğü üzere optimum kabarcık giriş hızı 1lt/dk olarak belirlenmiştir.

#### 3.3.4 Çözünmüş İyonların Flotasyona Etkisi

Tuz çözeltilerine bağlı olarak yapılan çözünmüş hava flotasyonu çalışmaları tüvenan haldeki numuneler ile ve hiçbir flotasyon kimyasalı kullanılmadan

gerçekleştirilmiş olup talk flotasyon sonuçları Şekil 9'da verilmiştir.



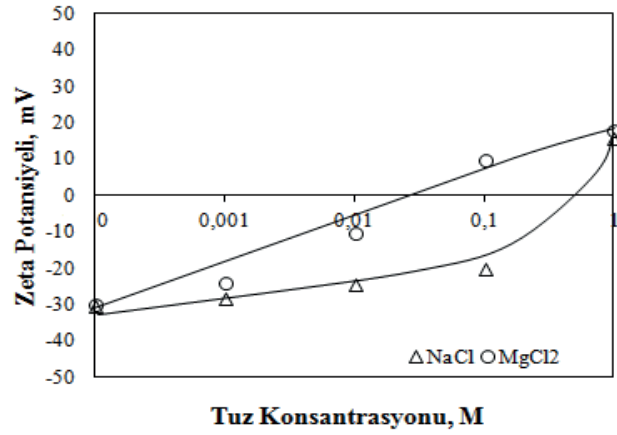
Şekil 9. Tuz konsantrasyonu-flotasyon verimi ilişkisi

Şekil 9'da görüldüğü gibi talkın CHF ile yüzdürülmesinde çift değerlikli Mg<sup>+2</sup> tuzları %14 verim artışı sağlarken tek değerlikli Na<sup>+</sup> tuzları etkili olamamıştır. Bu durumun talkın kristal yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Oldukça değişik bir kristal yapıya sahip olduğu bilinen talkın yüzeyleri hidrofobik, kenarları ise hidrofilik karakterlidir (Burdukova ve diğ., 2006; Salopek ve diğ., 1992; Nalaskowski ve diğ., 2007).

Çift değerlikli tuzların iyonik etkisinin tek değerlikli tuzlara oranla çok daha fazla olması; talk tanesi ile hava kabarcığı arasındaki elektriksel çift tabakayı daha fazla bastırarak flotasyon veriminde ufakta olsa artışa neden olduğunu düşündürmektedir.

### 3.4 Tuz Tipinin Zeta Potansiyeline Etkisi

Deneysel çalışmalarda kullanılan Na<sup>+</sup> ve Mg<sup>+2</sup> tuzlarının konsantrasyonuna bağlı olarak talkın, zeta potansiyeli değişimleri Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'dan görüldüğü gibi artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak talk mineralinin zeta potansiyeli 0,01 M'dan itibaren taneler arasındaki itme kuvvetlerinin azalması nedeniyle stabil olmayan bölgeye geçişe neden olmuştur. Özellikle MgCl<sub>2</sub> tuzu zeta potansiyelini daha düşük konsantrasyonlarda etkilemeye başlamıştır.

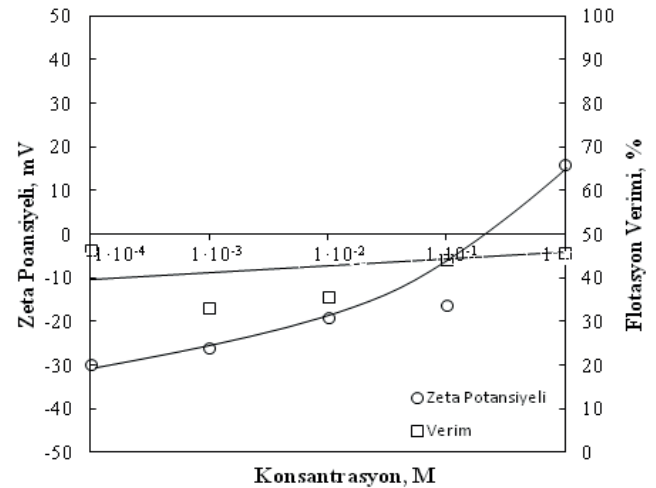


Şekil 10. Tuz tipi-zeta potansiyeli ilişkisi

## 3.4 Zeta potansiyeli- Flotasyon Verimi İlişkisi

### 3.4.1 Na<sup>+</sup> İyonunun Etkisi

Şekil 4.11'de görüldüğü üzere NaCl tuzunun özellikle 0,1 M ve üzeri konsantrasyonlarda talkın zeta potansiyeli önemli oranda etkilenmekte ve stabil olmayan bölgeye geçiş gözlenmektedir. Bu bölgede flotasyon veriminin artması beklenirken değişim gözlenmemesinin daha öncede vurgulandığı gibi talkın kristal yapısından kaynaklandığını düşündürmektedir.

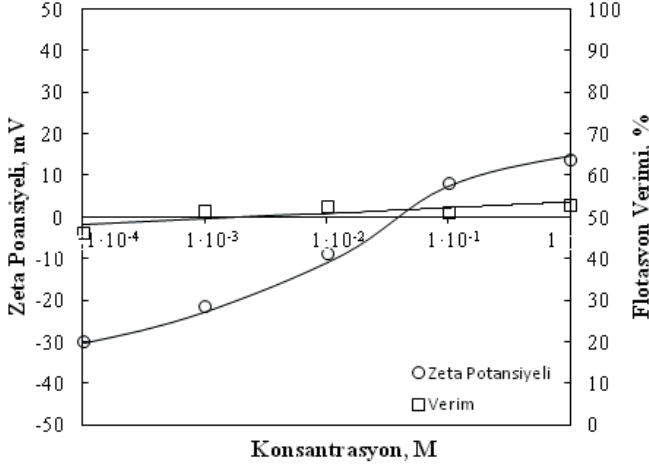


Şekil 11. Talkın NaCl tuzu konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyeli-flotasyon verimi ilişkisi

### 3.4.2 Mg<sup>+2</sup> İyonunun Etkisi

Şekil 12'den görüldüğü üzere Mg<sup>+2</sup> tuzunun tüm konsantrasyonlarında talkın zeta potansiyeli önemli oranda etkilenmekte ve stabil olmayan bölgeye geçiş gözlenmektedir. Bu bölgede flotasyon veriminin sadece %14 civarında artması Mg<sup>+2</sup> iyonunun elektriksel çift tabakayı kuvvetle bastırmasından kaynaklanmaktadır. Talk yüzeylerinde büyük bir elektriksel çift

tabaka itmesi ve zayıf vanderwaals çekmesi (DLVO ile uyumlu), kenarlarında ise hidrotasyona bağlı çok zayıf itme (non-DLVO ile uyumlu) kuvvetlerinin (Nalaskowski ve diğ., 2007) varlığından dolayı olduğu bilinmektedir.



Şekil 12. Mg<sup>2+</sup> konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel-flotasyon verimi ilişkisi

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Flotasyonda çözülmüş iyonların solüsyon ve ara yüzeylerini etkileyerek, özellikle yüksek konsantrasyondaki iyonların kabarcıklar ile taneler arasındaki kolloidal etkileşimleri değiştirmesi sebebiyle minerallerin flotasyonunu önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir (Özdemir vd., 2009). Taşkömürlerinin tuzlu su içerisinde hiçbir flotasyon kimyasalı kullanılmadan yüzdüğü uzun yıllardan beri bilinmektedir. Bu durum kömürün hidrofobik özelliği ile açıklanabilmektedir. Taşkömürü doğal hidrofobik olduğu için tuzlu su içerisinde sadece kabarcık üretilmesi ile yüzebilmesi mümkün olmaktadır. Talk'ın da doğal hidrofobik minerallerden biri olması nedeniyle tuzlu su içerisinde yüzebilmesinin mümkün olacağı düşünülmüştür. Bu çalışmada çözülmüş iyonların etkisiyle çözülmüş hava flotasyonu tekniği kullanılarak talk'ın tuzlu sularda flotasyonu sonuçları incelenmiştir.

CHF deneylerinde uygulanacak optimum basınç 40 psi olarak belirlenmiştir. Optimum basınç değerinin belirlenmesi sonrasında en uygun tane boyutu ise -106+38 µm olarak belirlenmiştir. Optimum basınç ve boyut deneylerinde elde edilen sonuçlar ışığında

kabarcığın flotasyon ünitesine giriş hızı ise 2 lt/dk hıza sahip 1. kademe vana açıklığı olarak belirlenmiştir.

Talkın tuz konsantrasyonuna bağlı olarak gerçekleştirilen temas açısı ölçümleri değerlendirildiğinde literatürle (Laskowski ve Iskra, 1970) uyumlu şekilde belirgin bir değişim gözlenmediği görülmüştür.

Na<sup>+</sup> iyonunun CHF üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda tuz konsantrasyonu arttıkça verimin değişmediği gözlenmiştir. Mg<sup>2+</sup> iyonunun CHF üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde ise tuz konsantrasyonu arttıkça flotasyon veriminin %14 arttığı görülmüştür.

Flotasyon verimi kabarcıkların stabilitesine bağlıdır. Flotasyonda kabarcıklar yüksek derecede hidrofobik oldukları için aralarındaki itme kuvvetleri zayıftır ve bu yüzden birleşirler. Yapılan deneylerde literatürle uyumlu biçimde (Marrucci ve Nicodemo 1967; Yoon, 1982; Paulson ve Pugh, 1996; Özdemir, 2013) tuzlu sular içerisinde kabarcık birleşiminin tuz varlığı nedeniyle engellendiği ve tuzlu su ortamında yüksek sayıda ince boyutlu kabarcıkların üretilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.

Talkın CHF ile yüzdürülmesinde çift değerlikli Mg<sup>2+</sup> tuzları verim artışı sağlarken, tek değerlikli Na<sup>+</sup> tuzları etkili olamamıştır. Bu durumun talkın kristal yapısının 3 tabakalı bir sulu magnezyum silikat olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çift değerlikli tuzların iyonik etkisinin tek değerlikli tuzlara oranla çok daha fazla olması talk tanesi ile hava kabarcığı arasındaki elektriksel çift tabakayı daha fazla bastırarak flotasyon veriminde ufakta olsa artışa neden olduğunu düşündürmektedir. Bu durum literatürle de uyumludur. Zira yüksek tuz konsantrasyonlarında ve özellikle Na<sup>+</sup> veya Mg<sup>2+</sup> gibi çözülmüş iyonların kabarcıkların ve tanelerin elektrokinetik davranışlarını etkiledikleri ve böylelikle hem tanenin hem de kabarcığın zeta potansiyel değerlerini düşürdükleri bilinmektedir. Bu durumda yüksek tuz konsantrasyonlarında elektriksel çift tabakanın (EÇT) bastırılması nedeniyle elektrostatik etkileşim zayıf olacaktır. Dolayısıyla da kabarcık tane

etkileşimini sadece hidrofobik kuvvet belirleyecektir. Buna göre EÇT'nin bastırılması kabarcık tane yapışmasını kolaylaştıracak ve böylelikle flotasyon verimi de artacaktır (Özdemir, 2009).

Talkın zeta potansiyeli  $\text{Na}^+$  tuzu varlığında özellikle 0,1 M ve üzeri konsantrasyonlarda önemli oranda etkilenmektedir ve bu bölgede flotasyon veriminin artması beklenirken değişim gözlenmemesinin talkın kristal yapısından kaynaklanabileceği sonucunu düşündürmektedir.  $\text{Mg}^{+2}$  tuzunda ise tüm konsantrasyonlarında talkın zeta potansiyeli önemli oranda etkilenmektedir ve bu bölgede flotasyon veriminin %14 oranında artması  $\text{Mg}^{+2}$  iyonunun elektriksel çift tabakayı kuvvetle bastırmasından kaynaklanmaktadır. Genel anlamda bakıldığında ise tuz varlığında CHF'de talkın yüzebilirliğinin %14 arttığı ancak deneyler esnasında herhangi bir reaktif ve köpürtücü kullanılmadığı düşünüldüğünde CHF tekniğinin başarıyla uygulanabileceği görülmüştür.

CHF işlemi esnasında oluşan mikro kabarcıkların silikat formundaki talk yüzeyleriyle etkileşiminin düşük olduğu da düşünülebilir. Yalçın ve Byres, 2006 tarafından yapılan çalışmada mikro kabarcıkların kuvars yüzeyine tutunmadıkları ortaya konmuştur. Her ne kadar talk doğal hidrofob bir mineral olsa da kenarların hidrofilik karakteri ve mikrokabarcıklar nedeniyle yüzebilirliğin düşük kaldığı düşünülmektedir.

CHF tekniği özellikle ince boyutlu cevherlerin kazanımında (şlam kömürleri gibi) yararlı olabileceği düşünülen bir teknik olup yapılacak yeni çalışmalarla flotasyon işlemleri esnasında hava yerine başka gazların (argon,  $\text{CO}_2$ , v.d. ) denenmesi daha farklı ve olumlu yüzebilirlik sonuçlarının elde edilmesini sağlayabileceği göz ardı edilmemelidir. Genel olarak CHF deney sonuçları yorumlandığında, sonuçlar pahalı ve özel kimyasal bileşiklerin flotasyonda kullanılma gerekliliğinin ortadan kalkmasına ve/veya azalmasına dolayısıyla flotasyon tesislerinin işletim masraflarının büyük oranda düşmesine yol açacak ve ince boyutlu malzemelerin kazanımına olanak

sağlanacaktır. Buna ek olarak reaktif kullanımının neden olabileceği olası çevre kirliliği sorunları da giderilmiş olacaktır. Bununla birlikte dünyada hızla tükenen temiz su kaynakları ve flotasyon tesislerinde tuz içeriği yüksek kuyu suyu kullanımı zorunluluğu da önemli bir husustur. CHF tekniğinin bu anlamda yakın gelecekte şlam kazanımı, kirlilik giderimi amaçlarıyla ön plana çıkma potansiyeli yüksektir.

En önemlisi bu çalışmadan elde edilen sonuçlar birçok sistemin tuzlu sular veya deniz suyu içerisinde çözünmüş hava flotasyonu davranışlarını anlamamıza da yardımcı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Burdukova, E., Laskowski, J. S. and Bradshaw, D. J., 2006. *Surface properties of talc and their effect on the behaviour of talc suspensions. XXIII International Mineral Processing Congress (IMPC 2006)*, Istanbul, Turkey, (904-910). 3-8 September 2006.
- Eckenfedersor W. W., 2000, *Industrial Water Pllution Control*, Third Edition.
- Edzwald J.K., 1995, *Principles and applications of dissolved air flotation*, Water Science and Technology, Volume 31, No 3-4, Sayı 1-23.
- Feris, L.A., De Leon, A.T., Santander, M., Rubio, J., 2004, Advances in the adsorptive particulate flotation process, *International Journal of Mineral Prossessing*.
- Laskowski, J., Iskra, J., 1970, *Role of Capillary Effects in Bubble-Particle Collision in Flotation*, Inst. Mining Met., Trans., Sect. C, 79(March), C6-C10.
- Marrucci, G., Nicodemo, L., 1967, *Coalescence of Gas Bubbles in Aqueous Solutions of Inorganic Electrolytes*, *Chemical Engineering Science*, 22(9), 1257-1265.
- Nalaskowski, J., Abdul, B., Du, H., Miller, J.D., 2007, *The Anisotropic Character of Talc Surfaces as Revealed By Streaming Potential Measurements, Atomic Force Microscopy, and Molecular Dynamics Simulations*, Department of Metallurgical Engineering, University of Utah.
- Newcombe, G., Dixon, D. (editors) 2006. *Interface Science in Drinking Water Treatment*, Dissolved air Flotaiton in

- Drinking Water Treatment, Chapter 6, 89-107.
- Özdemir, O., Taran, E., Hampton, M.A., Karakashev, S.I., Nguyen, A.V., 2009, *Surface Chemistry Aspects of Coal Flotation in Bore Water*, International Journal of Mineral Processing, 92(3-4), 177-183.
- Özdemir, O., 2013, *Specific Ion Effect of Chloride Salts on Collectorless Flotation of Coal*, *Physicochem. Probl. Miner. Process*, 49(2), 511-524.
- Paulson, O., Pugh, R.J., 1996, *Flotation of Inherently Hydrophobic Particles in Aqueous Solutions of Inorganic Electrolytes*, *Langmuir*; 12(20): 4808-4813.
- Rykaart E.M., Haarhoff J., 1995, *Behaviour of air injection nozzles in dissolved air flotation*. *Water Science Technology*, 31 (3-4), 25-35.
- Salopek, B., Krasic, D., Filipovic, S., 1992, *Measurement and Application of Zeta-Potential*, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Pierottijeva 6.
- Yalçın, T., Byers, A., 2006, *Dissolved air flotation in mineral processing*. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* 27: 87-97.
- Yoon, R.H., 1982, *Flotation of Coal Using Micro-Bubbles and Inorganic Salts*, *Mining Congress Journal*, 6876-6780.

# Jameson Flotasyon Hücrelerinde Bias ve Köpük Derinliğinin Kontrolü

## *Bias and Froth Depth Control In Jameson Flotation Cell*

A. Pirinç, A. Uçar, O. Şahbaz

*Maden Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye*

B. Öteyaka

*Maden Mühendisliği Bölümü, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye*

**ÖZET** Flotasyon, katı, sıvı ve gaz ara yüzeylerinde meydana gelen karmaşık fiziko-kimyasal olaylara bağlı bir süreçtir. Flotasyon tekniğinin başarısı, çalışma parametrelerine, bu parametrelerin kontrolüne ve kullanılan aletlerin tipine bağlıdır. Bu aletlerden önemli biri de ince taneli minerallerin flotasyon sorununa çözüm getiren ve yaygın kullanılan Jameson flotasyon hücresidir.

Jameson hücresinde flotasyon verimini ve konsantrenin tenörünü etkileyen en önemli parametreler hold-up, bias hızı ve köpük derinliğidir. Bunlar flotasyon işlemi süresince daima kontrol altında tutulması gereken parametrelerdir. Bu çalışmada hold-up, bias kesitsel hızı, köpük derinliği ve diğer parametrelerin kontrolü PID kapalı çevrim kontrol sistemi ile yapılmıştır. Anlık alınan bilgiler ile sistemin daha az hatalı ve kararlı çalışması sağlanmıştır. Böylece parametrelerin istenilen değerlerde tutulması sağlanmıştır. Anlık alınan verilere göre yıkama suyu debisi arttıkça köpük derinliği düşmektedir ve bias hızı arttıkça köpük derinliği artmaktadır. Ayarlanan bias hızında oluşacak köpük derinliğinin dengeye gelmesi için uygun bir süre verilmesi gerekir.

**ABSTRACT** Flotation is a physico-chemical complex process which occurs in the interfaces of solid, liquid and gas. The success of the process depends on operational parameters, automatic control of these parameters, and type of flotation device. One of the flotation device is a Jameson cell was invented for fine particle flotation.

The most important parameters which affects the Jameson cell recovery and concentrate grade are hold-up, bias factor and froth depth. These parameters should be stable during the operation. In this study hold-up, superficial bias velocity and froth depth have been automatically controlled in Jameson cell by the use of PID closed loop control system. As a result much more stable operation with the less error has been obtained by automatic control. According to instantaneous data obtained froth depth decreases with both the increase of washing water rate and the bias velocity decrease.

## 1 GİRİŞ

Flotasyon katı, sıvı ve gaz ara yüzeylerinde meydana gelen kompleks fiziko-kimyasal olaylara bağlı bir zenginleştirme prosesidir. Flotasyon sadece mineral endüstrisinde değil su temizleme ve artık kâğıttan mürekkep uzaklaştırma gibi diğer birçok alanlarda da uygulanmaktadır (Rao and Leja 2004).

Bunların zenginleştirme performansı, çalışma prensiplerine (ortam türbülansı, üretilen kabarcık çapı ve hold-up gibi) geometrik yapısına ve uygun çalışma parametrelerinin kontrolüne bağlıdır.

Doğal vakumlu hava ile karıştırma prensibine göre çalışan aletlerden biri olan Jameson flotasyon hücresi, günümüzde çok



ince boyutlarda serbestleşen ve klasik flotasyon hücrelerinde yeteri kadar zenginleş-tirilemeyen minerallerin flotasyonunda başarı ile kullanılmaktadır (Harold 2006, Jameson 1999, Şahbaz 2005, Şahbaz 2010, Çınar vd. 2007, Evans at. al. 1995). Bu alet yapısal ve çalışma prensipleri açısından mevcut flotasyon aletlerinden (mekanik flotasyon hücresi, flotasyon kolonları vb.) farklıdır. İnce boyutta serbestleşen minerallerin flotasyonunda performansı yüksektir. Klasik flotasyon hücrelerine göre bu avantajı sağlayan temel neden ise; ürettiği küçük çaplı hava kabarcıkları ve bunların sağladığı kabarcık – tane arasındaki yüksek çarpışma olasılığıdır (Şahbaz 2005, Harbort at.al. 2002).

Düşey boru ve ayırma hücresi gibi iki ana kısımdan oluşan Jameson hücresinin, klasik flotasyon kolonuna göre de avantajları vardır. Bunlar; alet yüksekliğinin az olması, oldukça küçük boyutta hava kabarcığı üretmesi ve düşey boruda yüksek yoğunlukta hava kabarcığının bulunması (yüksek hava tutunumu / hacimsel hava miktarı), flotasyon süresinin çok kısa kısa olması nedeniyle kapasitesinin daha fazla olmasıdır. Ayrıca hava kabarcığı üreticisine ve kompresöre ihtiyaç duyulmamasıdır. Belirtilen avantajlardan dolayı ince taneli cevherlerin flotasyonunda daha çok tercih edilmektedir (Evans at. al. 1995, Harbort at. al. 2002, Jameson 1988, Mohanty and Honaker 1999, Mohanty 2001, Rubio vd. 2002, Taşdemir 2006, Harbort at. al. 2003, Jameson and Manlapig 1991, Bangerter 1998, Kennedy 1990, Summers and Finch 1993).

Çalışma sürecinde flotasyon performansı üzerine etkili olan hold-up, bias hızı ve köpük derinliği başta olmak üzere pH, sıcaklık ve reaktif dozajlarının Jameson flotasyon hücresinde sürekli kontrol altında tutulması ve tam otomasyonun sağlanmasında yarar vardır.

Bu çalışmanın amacı, Jameson hücresinde manuel olarak kontrolü zor olan hold-up, bias faktörü, köpük derinliği, pH, sıcaklık ve reaktif dozajlarının ikili faz ortamında hassas ölçmesi ve otomatik olarak kontrollerinin PID kapalı çevrim kontrol sistemi ile sağlanmasıdır. Bu amaçla çalışmada tasarımı

ve kurulumu yapılan tam otomasyona sahip laboratuvar boyutlu Jameson hücresinde iki fazlı (hava + su) sistemde bahsi geçen parametrelerin kontrolü sağlanmaya çalışılmıştır.

Jameson flotasyon hücresinde hold-up, bias faktör, köpük derinliği, pH, sıcaklık ve reaktif dozajı parametrelerinin kontrolü için bazı hidrodinamik olayların ve parametrelerin bilinmesi gerekir.

## 2 HÜCRE HİDRODİNAMİĞİ

Hücre veya ayırma tankı olarak adlandırılan bu kısım, Jameson hücresinin ana bölümlerindedir. Bu kısım, agrega (hidrofob tane+hava) ile hidrofil tanelerin birbirinden ayrılmasına olanak verecek şekilde tasarlanmıştır. Düşey boruya göre daha geniş bir kesit alanına sahip olan ayırma tankında çalışma şekline bağlı olarak pülp ve köpük bölgesi (derinliği) olmak üzere iki farklı hidrodinamik bölge vardır (Rao and Leja 2004, Harbort at. al. 2003, Evans 1990) (Şekil 1).

### 2.1 Pülp Bölgesi

Pülp bölgesi, aletin ayırma tankı içinde ve alt kısmı oluşturan ikinci ana kısımdır. Düşey boruda oluşan karışımın boşaldığı bu bölgede agregalar yukarıya doğru yükselerek köpük bölgesini oluşturur. Gravite etkisiyle hidrofil taneler aşağıya doğru hareket ederler ve hücrenin altından kolonu terk ederler. Hidrofob tanelerce zengin köpük ise üst kısımdan alınır. İnce tanelerin sürüklenmesini önlemek için hücreden taşan suyun debisini veya diğer bir değişle, yukarıya doğru yükselen suyun hızını (pozitif bias hızı) azaltmak gerekir (Şekil 1) (Öteyaka 1993).

### 2.2 Köpük Bölgesi

Hücrenin üst kısmında agregalardan oluşan ve %60-70 hava içeren bölgedir. Mineralce zengin köpük doğal taşma ile hücreden ayrılır. Köpük bölgesinin stabilizesini, sistemin bias pozitifte çalışmasını ve hidrolik yolla konsantre ile birlikte köpük bölgesine taşınan ince hidrofil tanelerinin tekrar pülp bölgesine gönderilmesini köpük bölgesinin üstünden ilave edilen yıkama suyu sağlar. Köpük derinliğinin varlığı bias hızına ve

hold-up'a bağlıdır. Yıkama suyu aynı zamanda köpük bölgesi yüksekliğini de belirleyen parametre olup, flotasyon işleminin verim ve tenörünü etkiler. Köpük derinliği az olduğunda verimi yüksek, tenörü düşük bir konsantre elde edilmektedir. Yüksek köpük derinliklerinde ise köpük bölgesi gang tanelerinin konsantre içine sürüklenmesini engelleyici bariyer olarak iş gördüğünden gang tanelerinin çoğu ayrışma bölgesinde kalır (Şekil 1) (Harbort et. al. 2003).

### 2.3 Köpük Derinliği Ölçümünde Kullanılabilecek Sensörler

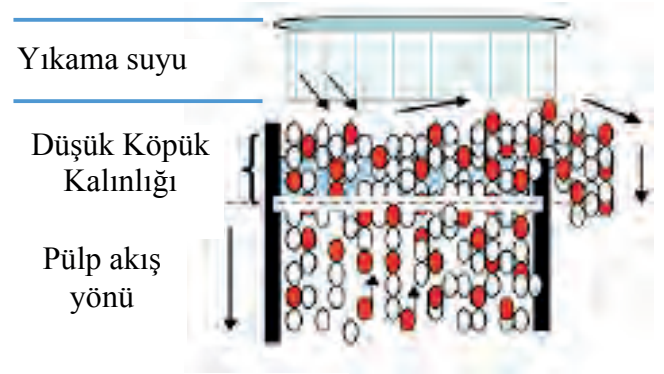
Sensör (algılayıcı) ısı (termal), ışık, nem, ses, basınç, kuvvet, elektrik, uzaklık, ivme, titreşim, kapasitif, endüktif, manyetik, görüntü ve pH gibi fiziksel ya da kimyasal büyüklükleri elektrik sinyallerine çeviren aletlerin genel adıdır. Sensörlerin analog elektrik sinyallerini ADC (analog dijital dönüştürücü) ile dijital dönüşümü sırasında örneklenen sinyalin ayrıştırma düzeyi çözünürlük olarak ifade edilir. Otomasyon sistemlerinde dijital çözünürlüğü 1, 8, 16, 24 bit olan sensörler yaygın kullanılmaktadır. Sensörlerin çözünürlük değeri arttıkça ölçüm hassasiyeti de artar. Köpük derinliği ölçümünde kullanılabilecek sensörleri çözünürlük açısından iki gruba ayırabiliriz.

Yüksek çözünürlüklü > 1bit: Eğim, optik mesafe, görüntü işleme.

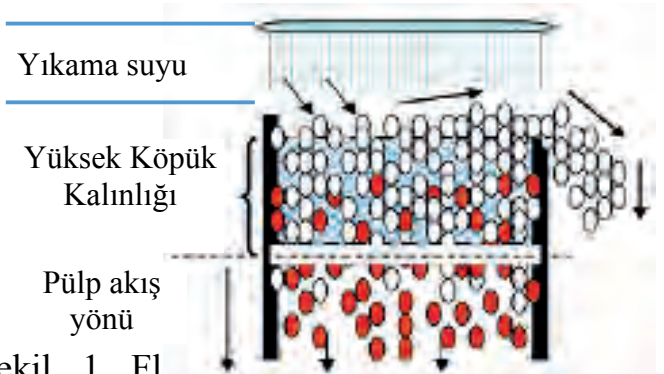
Düşük çözünürlüklü = 1bit: İletkenlik (Barry and Tim 2006, Bouchard et. al. 2014, Bergh and Yianatos 1993, Gomez et. al. 1989, Del Villar et. al. 1999, Marchese et. al. 1992), termal fark (Fairweather and Egan 1991), endüktif, kapasitif, optik, manyetik, basınç farkı, titreşim, radyo frekans kapasitif.

Düşük çözünürlüklü ölçüm yapan sensörlerin arka arkaya dizilmesiyle dijital ölçüm problemleri elde edilir. Proplarda kullanılan sensör sayısı arttıkça hassasiyette artmaktadır.

Bu çalışmada proplara nazaran çok daha düşük maliyetli, 16 bit yüksek çözünürlüklü dolayısıyla hassasiyeti yüksek eğim sensörü kullanılmıştır.



- Gang taneleri
- Konsantre



Şekil 1 Flotasyon hücrelerinde düşük ve yüksek köpük kalınlığının (Biasın etkisi) gang mineralleri üzerine etkisi

### 2.4 Bias Hızı Ölçümü ve Bias Faktörü

Jameson hücrelerinde flotasyon verimini, konsantrenin tenörünü ve köpük bölgesinin varlığını etkileyen en önemli parametrelerden biri de bias faktördür. Flotasyon işlemi süresince daima kontrol altında tutulması gereken bir parametredir. Bias (Atık debisi ile besleme debisi arasındaki fark) pozitif veya negatif değerine bağlı olarak köpük bölgesi oluşur. Köpük bölgesi derinliği ise yıkama suyunun debisine bağlı olarak değişir (Besleme ve atık debisi sabit olduğunda).

Bias faktör, artığa giden yıkama suyu miktarı olarak tanımlanmaktadır (Patwardhan and Honaker 2000). Flotasyon verimini, yüzen ürün tenörünü ve köpük bölgesinin varlığını etkileyen en önemli parametrelerden biri olan bias faktör (BF), atık debisi ( $Q_A$ ), besleme debisi ( $Q_B$ ) ve yıkama suyu debisi ( $Q_{ys}$ ) cinsinden Eşitlik (1) yardımıyla bulunabilir.

$$BF = (Q_A - Q_B) / Q_{ys} \quad (1)$$

Araştırmacılar yüksek oranda gang minerali içeren cevherlerin flotasyonu için 0.6'dan büyük bias faktör değerlerinde çalışılması gerektiğini vurgulamışlardır (Evans at. al. 1995). Genelde 0.3 ile 1.0 arasında pozitif bias faktör değerlerinde çalışılmıştır (Evans at. al. 1995, Mohanty and Honaker 1999, Patwardhan and Honaker 2000, Chugh and Patwardhan 2003). Sistemin pozitif bias faktörde çalıştırılması ile hücrede köpük bölgesi oluşmakta ve köpük bölgesi kalınlığının artırılarak daha selektif bir flotasyon gerçekleştirilebilmektedir.

Aşağıda verilen Eşitlik (2) ve (4) kullanılarak hücredeki bias kesitsel hızını (Eş. (4) bulmak mümkündür (Evans at. al. 1995).

$$J_b = \frac{Q_{YS} - Q_{WC}}{A_C} \quad (2)$$

$$Q_{WC} = Q_{YS} + Q_B - Q_A \quad (3)$$

Eşitlik (3) Eşitlik (2)'e yerine konulduğunda;

$$J_b = \frac{Q_A - Q_B}{A_C} \quad (4)$$

Burada;

$J_b$ : bias kesitsel hızı (m/s),

$Q_{YS}$ : yıkama suyu akış debisi ( $m^3/s$ ),

$Q_{WC}$ : konsantre suyu akış debisi ( $m^3/s$ ),

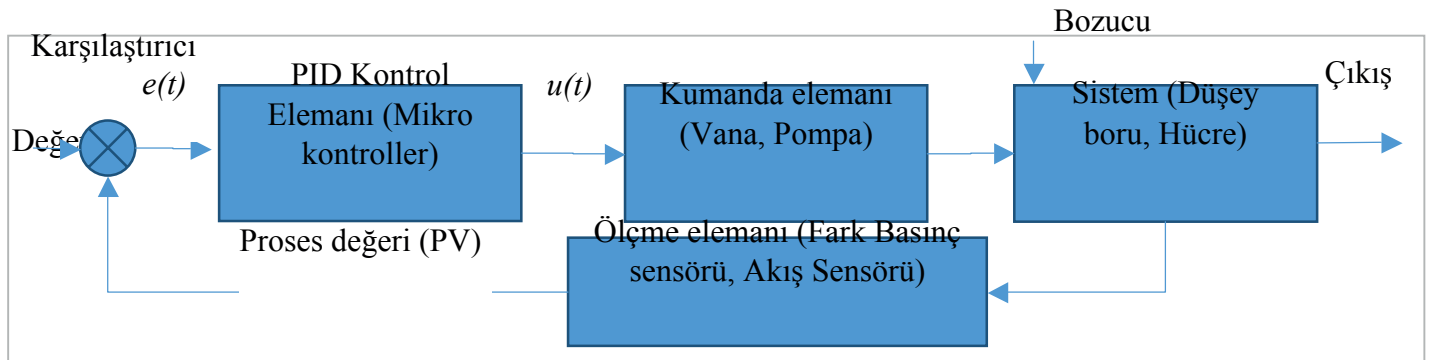
$A_C$ : hücre kesit alanını ( $m^2$ ) ifade etmektedir.

### 3 KONTROL SİSTEMİ

#### 3.1 Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemi

Jameson hücresi parametrelerinin kontrolünde kullanılan kapalı çevrimli kontrol sisteminde çıkış, yalnızca girişin bir fonksiyonu değildir. Çıkıştan alınan bir geri besleme ile giriş her zaman kontrol altına alınır. Çıkış, giriş ile geri beslemenin farkının Oransal, İntegral ve Türevsel (PID) bir fonksiyonudur. Bu tip kontrol sistemlerinde çıkış girişle karşılaştırılarak kontrol edildiği için, bozucu etkiler veya sistem parametrelerindeki iç değişimlerden daha az etkilenmektedir. Böylece daha hassas kontroller yapmak mümkündür.

Şekil 2'de kapalı çevrimli kontrol sistemine ait blok diyagramında görüldüğü gibi ayar değeri ve sensör vasıtasıyla sistemden ölçülen değer bir karşılaştırıcıda farkı alınarak bir hata değeri elde edilir. Bu değer bir mikro kontroller tarafından Eşitlik (5 ve Şekil 3'deki PID kontrol teorisine göre manipüle değeri (MV, kontrol değeri) elde edilir. MV elektronik bir sürücü devre yardımıyla motor, ısıtıcı, vana gibi kumanda elemanları kontrol eder. Kumanda elemanın sistem üzerinde meydana getirdiği etkisi t süresinde yine aynı sensör tarafından ölçülerek tekrar karşılatırıcıya geri beslenir. Şekil 4'de gösterildiği gibi süreç değerini (PV), süresi  $K_p$ ,  $K_i$ , ve  $K_d$  katsayılarına bağlı olarak olması istenilen değere getirilir. Çıkış değerinin istikrarlı kalması  $K_p$ ,  $K_i$ , ve  $K_d$  değerlerini iyi belirlenmesi ile mümkün olur (Ang at. al. 2005).



Şekil 2 Düşey boru içindeki jet uzunluğu kapalı çevrimli kontrol sistemi blok diyagramı

#### 3.2 PID Kontrol Teorisi

PID (proportional, Integral, Derivative) oransal-integral-türevsel denetleyici PID kontrol döngüsü yöntemi, yaygın endüstriyel kontrol sistemlerinde kullanılan genel bir kontrol döngüsü geribildirim mekanizmasıdır. Bir PID denetleyici ölçülü bir süreç içinde değişen ve istenilen ayar noktası ile arasındaki farkı olarak bir "hata" değerini hesaplar. Kontrolör süreç kontrol girişini ayarlayarak hatayı en aza indirerek istenilen ayar değerine ulaşmak için çalışır (Eş. (5), Şekil 3 ve Şekil 4).

PID algoritması üç ayrı sabit parametreyi içerir ve buna göre bazen üç aşamalı kontrol denir: oransal, P ile gösterilir integral I ile gösterilir türev değerleri, D ile gösterilir

Sezgisel olarak, bu değerler mevcut değişim göz önüne alınarak zaman açısından şu şekilde yorumlanabilir; P mevcut hataya bağlıdır, I geçmiş hataların toplamı ve D gelecekteki hataların bir tahminidir.

Bu üç eylemin ağırlıklı toplamı yoluyla kontrol edilen süreç istenilen seviyeye ayarlamak için kullanılır. Böylece örnek olarak bir kontrol valfinin pozisyonu ya da bir ısıtma elemanı çıkış gücü kontrol edilerek istenilen akış veya sıcaklık seviyesi en düşük hata ile elde edilmeye çalışılır.

Bazı uygulamalarda, uygun bir sistem kontrolü sağlamak için sadece bir veya iki işlem kullanmak gerekebilir. Bu, diğer parametrelere sıfır değeri vererek elde edilebilir. Bu durumda PID, ilgili denetim eylemlerinin yokluğuna göre PI, PD, P veya I olarak tanımlanır. Türevsel eylem, ölçüm gürültüsüne hassas olduğundan PI kontrolörleri, oldukça yaygındır. Bir İntegral öğesinin olmaması kontrol hareketi nedeniyle sistemin istenilen değere ulaşmasını engelleyebilir.

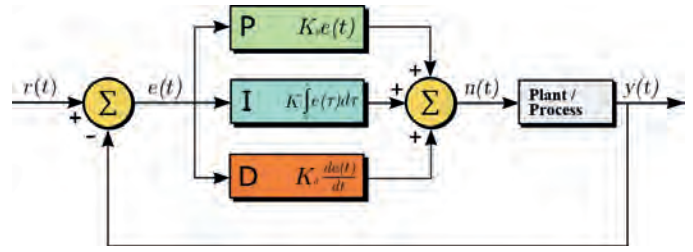
$$u(t) = MV = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

(Ang at. al. 2005, University of Michigan 2017)

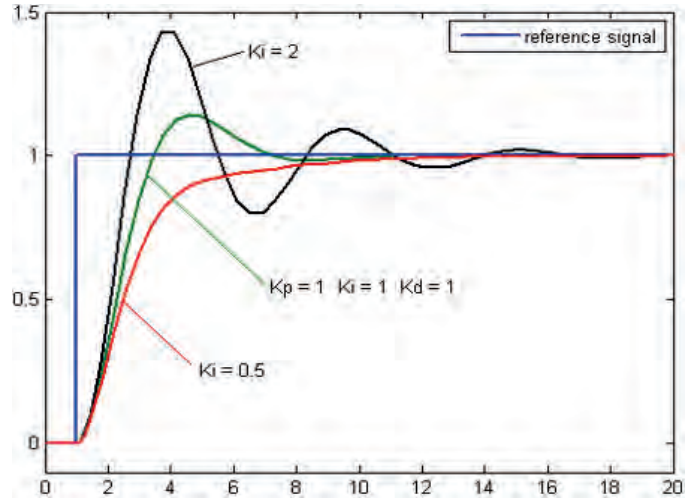
$u(t)$ , MV (manipulated variable): Kontrol çıkışı,

- $K_p$ : Oransal kazanç çarpanı,
- $K_i$ : Integral kazanç çarpanı,
- $K_d$ : Türev (tahmin) çarpanı,
- $e(t)$ : Hata = SP - PV(t),

$y(t)$ , PV(t): Proses değeri,  
 $t$  : Süre,  
 $\tau$ , SP : Ayarlanan değer.



Şekil 3 PID kapalı çevrim kontrol sistemi diyagramı



Şekil 4  $K_i$ ,  $K_p$  and  $K_d$  değerlerine bağlı Zaman-PV eğrileri (McDowall 2008, University of Michigan 2017)

## 4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1 Malzeme ve Yöntem

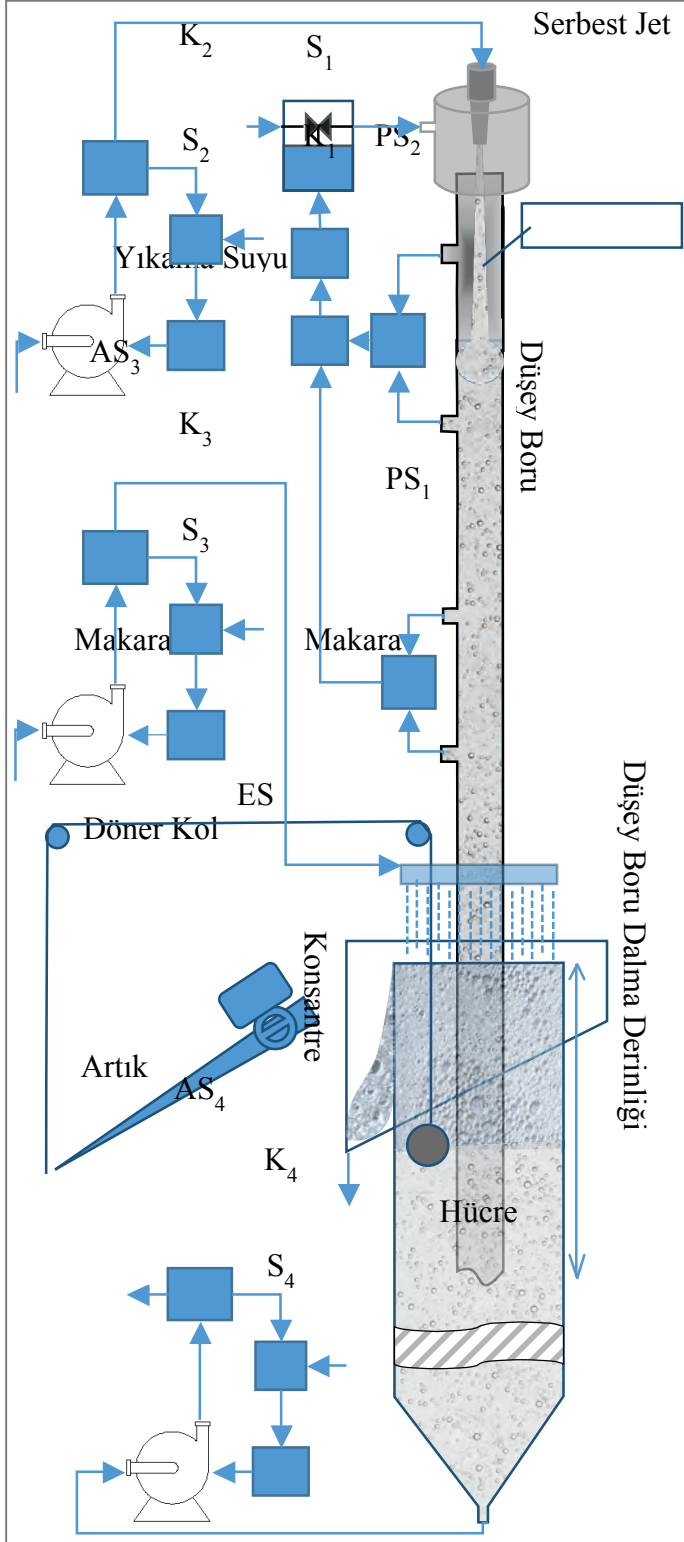
Deneysel çalışmalarda, laboratuvarında tasarımı yapılmış olan ve aşağıda boyutları verilen şeffaf pleksiglastan yapılmış Jameson hücresi kullanılmıştır (

Şekil 5). Daha önce yaptığımız Jameson hücresindeki hold-up kontrolü, Uçar vd. (Uçar vd. 2016) tarafından sunulmuş olup, bu çalışmada sadece bias hızı ve köpük derinliği kontrolü anlatılmıştır.

Deneyselerde köpürtücü olarak poliglikol-lerin karışımından oluşan 20 ppm aerofroth 65 (AF 65) kullanılmıştır.

Şekil 5’de;  
 Nozul çapı: 3 mm,

PS<sub>1</sub>, PS<sub>2</sub>: Fark basınç sensörü,  
 AS<sub>1</sub>, AS<sub>2</sub>, AS<sub>3</sub>, AS<sub>4</sub>: Akış sensörü,  
 K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub>: Kapalı çevrim kontrolör,  
 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>: Motor sürücüsü  
 MV: Motorlu vana,  
 ES: Eğim sensörü



Şekil 5 Jameson hücresi kontrol diyagramı

Kontrol paneli olarak Android işletim sistemine sahip 12" dokunmatik ekranlı bir tablet kullanılmıştır. Kontrol paneli yazılımı Java programlama dili ile geliştirilmiştir. Panel üzerinden ayarlanacak tüm parametreler dokunmatik olarak yapılmaktadır. Parametrelerin ölçülen proses değerleri ayarlanan parametre değerlerine istenilen sürede ulaşmazlarsa veya bozulurlarsa panel hem görsel hem de sesli uyarı vermektedir. Otomatik veriler alıp hem grafiksel gösterebilmekte hem de dosyaya kaydedebilmektedir.

Üzerine mikro kontrolör kartı, motor sürücülerini ve diğer elektronik bileşenlerin monte edildiği, birçok güvenlik önlemlerinde alındığı (acil kapatma, sigortalar, ısı denetimi, optik yalıtım) kontrol ana kartı tasarlanmıştır. Sürecin tüm yükünü üstlenen mikro kontrolör yazılımı C++ programlama dili ile geliştirilmiştir.

#### 4.2 Sistemde Kullanılan Debimetreler

##### Elektromanyetik Debimetre

Elektromanyetik debimetreler genel olarak elektriksel iletkenliği olan su, atık su ve benzeri endüstrilerde kullanılmaktadır. Elektromanyetik debimetrelerde herhangi bir hareketli parça olmaması ve minimum bakım gerektirmesi bu enstrümanın en önemli avantajıdır. Elektromanyetik debimetreler Faraday'ın İndüksiyon Kanununa göre çalışır. Elektriksel iletkenliği olan bir akışkan, elektriksel olarak izole edilmiş bir boruda manyetik alandan geçer. Manyetik alan oluşturmak için bir çift bobin kullanılır ve bu bobinler üzerinden elektrik akımı geçirilir. Elektrotlar arasında sıvının akış hızı ile doğru orantılı bir voltaj oluşur. Oluşan bu voltaj debi, akış hızı, gövde katsayısı olarak da bilinen geometrik düzeltme katsayısı, manyetik alan büyüklüğü ve debimetre iç çapına bağlı değişir.

##### Türbin Debimetre

Anlık ve toplam hacimsel akış ölçen, türbin tip mekanik sayaçtır. Türbin debimetre akışkanın mekanik enerjisini kullanarak rotor denilen türbini döndürürler. Türbinin üzerindeki kanatlar enerjiyi akış yönünden rotasyonel enerjiye dönüştürmek için

açılanmıştır. Rotor mili yataklar üzerinde dönerler. Akışkanın hızı bu dönüşün hızı ile orantılıdır. Milin dönüşü mekanik olarak veya bir kanatların hareketi ile algılanabilir. Kanat hareketi genelde her kanatın üzerine yerleştirilmiş mıknatısların hall-effect sensörünü etkileyerek veya optik bir sensörün ışık kesintisini sağlayarak pulse (elektriksel sinyal) üretmesini sağlar. Pulse sayısı birim zamanda akış miktarı ile doğru orantılı olarak değişim göstermektedir.

Elektromanyetik debimetreler türbin (kanatlı) debimetrelere göre akış miktarı, mekanik aşınma, korozyon ve tane sıkışması gibi etkilerden neredeyse hiç etkilenmemektedir. Bu nedenle ölçüm sınırları içinde daha doğru ölçüm yapabilmektedirler. Başka bir değişle türbin debimetreler mekanik yapıları nedeniyle ölçüm sonuçları daha hatalıdır. Fakat ucuz olmaları nedeniyle yine de tercih edilmektedirler. Tablo 1’de sistemde kullanılan debimetrelerinin farklı debilerdeki ürettikleri pulse sayıları deney sonuçları verilmiştir. Tablo 1’de görüldüğü üzere farklı akış miktarlarında farklı pulse değerleri elde edilmiştir. Bu nedenle akış hesaplamalarında ortalama pulse değerleri kullanılarak hataların daha aza indirilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmadaki bias hızı hesaplanmasında kullanılan artık ve besleme debilerini daha hassas ölçmek için taneli yapıları hiç etkilenmeyen elektromanyetik debimetreler kullanılmıştır. Yıkama suyu içinde tanelerin olmaması ve hassas sonuç ölçümü çok önem arz etmemesi nedeniyle türbin debimetre kullanılmıştır.

### 4.3 Bias Hızının Kapalı Çevrim Sisteminde Kontrolü

Köpük bölgesi elde etmek için Jameson hücresi pozitif bias’ta çalıştırılarak köpük bölgesinin hemen üzerinden pompa yardımıyla yıkama suyu sisteme fıskiye halinde kapalı çevrim denetim sistemi ile köpük derinliğine bağlı olarak verilir. Köpük derinliği, bir şamandıraya bağlı eğim sensörü değerinden şamandıranın dalma derinliği hesaplanarak bulunmaktadır. Yıkama suyu, sistemin dengeli çalışmasını sağlarken, debisini değiştirerek köpük bölgesinin

derinliği ayarlamada da önemli rol oynar. Bu nedenle, bias üzerine etkili parametreler olan debiler, doğrudan elektronik debi ölçerler yardımıyla kapalı çevrim denetim sistemi ile kontrol edilmiştir.

Bias hızı kontrolü için gerekli olan besleme debisi ve bias hızı kontrol ekranından ayarlanır (set edilir). Besleme akış debimetresinden alınan pulse, mikro kontrolör ile süreye bağlı olarak PID kapalı çevrim ile kontrol edilerek besleme akış debisi pompasının DC motoru PWM (Pulse-width modulation) sürülerek ayarlanır (Şek. Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4). Eğer hesaplanan proses besleme debisi, ayarlanan besleme debisinden büyükse besleme pompası motor sürücüsünün PWM değeri azaltılarak debinin azalması sağlanır veya aksi halde PWM değeri artırılarak debinin artması sağlanır. Hesaplanan proses besleme debisinin ayarlanan besleme debine manipülasyonu Şekil 4’de görülmektedir.

Artık debisinin kontrolü için hesaplanan anlık proses bias hızı ve proses besleme debisi değerlerini mikro kontrolör Eşitlik(6’yı kullanarak ayarlanması gereken artık debisi hesaplar ve yazılımsal olarak yeniden ayarlar. Proses artık debisi, artık akış debimetresinden alınan pulse ile besleme debisi kontrolü gibi yapılır. Aynı hesaplama hem pozitif hem de negatif bias hızı içinde geçerlidir.

Eşitlik (4’den  $Q_A$  çekilirse;

$$Q_A = J_b \cdot A_C + Q_B \quad (6)$$

Tablo 1 Debimetrelerin farklı debilerde kümülatif pulse sonuçları

Pompa	Artık	Beleme	Yıkama
Debi (l/dak)	Elektro-manyetik	Elektro-manyetik	Tribün
2	4327	4340	6218
4	4205	4310	5750
6	4140	4300	5550
8	4147	4300	5408
10	4169	Nozul engelliyor	5211
12	4145		5211
14	4149		5033

#### 4.4 Köpük Derinliğinin Kapalı Çevrim Sisteminde Kontrolü

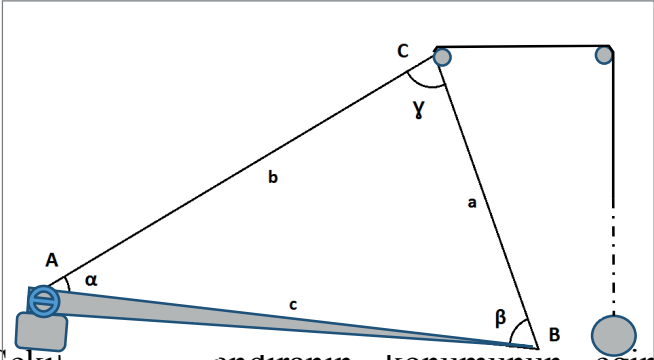
Köpük derinliği için gerekli olan besleme debisi, bias hızı, hold-up ve köpük derinliği kontrol ekranından ayarlanır. Sırasıyla besleme debisi, bias hızı, hold-up (Uçar vd. 2016) ayarlanan değerlere getirilir.

Şekil 5 Şekil 6'da gösterildiği gibi köpük bölgesi ile pülp bölgesi ara yüzünde konumlanan şaman-dıraya misina ile bağlı oynar kol üzerindeki eğim sensöründen (ES) alınan eğim değeri ve geometrik parametrelere (Şekil 6) bağlı olarak mikro kontrolör ile kosinüs teoreminden (Eş. (7)) faydalanarak a kenar uzunluğu hesaplanır. Hesaplanan değer aynı zamanda proses köpük derinliğidir. Proses köpük derinliği ile ayarlanmış (set point) köpük derinliği, yıkama suyu ilavesiyle ayarlanır. Eğer hesaplanan proses köpük derinliği ayarlanan köpük derinliğinden küçükse yıkama suyu pompasının debisi azaltılmaktadır veya aksi halde artırılmaktadır. Yıkama suyu debisi kontrolü, yıkama suyu debimetresinden alınan pulse ile besleme debisi kontrolü gibi yapılır.

Şamandıra özgül ağırlığı suyun özgül ağırlığı yakın seçilmiştir. Böylece zıt kol ağırlığı ile birlikte pülp bölgesi içinde batması engellenmiştir. Buna karşın köpük bölgesi yoğunluğunda küçük olduğu için batarak köpük bölgesi-pülp bölgesi ara yüzünde

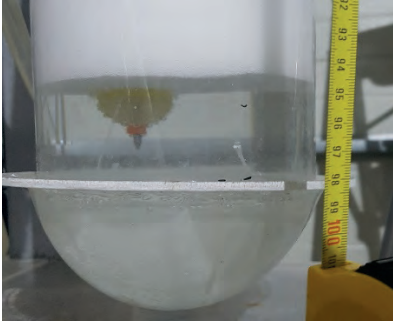
askıda kalması sağlanmıştır (Şekil 6

Şekil 5 ve Şekil 7). Bu aletle köpük derinliğini 95 cm'ye kadar kontrol edilebilmektedir.



Şekil 7 Şamandıranın konumunun egim sensörü ile belirlenmesi

$$a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha} \quad (7)$$



Şekil 7 Jameson flotasyon hücresinin 50 cm köpük derinliğinde çalışması



Şekil 8 Jameson flotasyon hücresinin köpük pülp ara yüzeyi ve şamandıra konumu

Makara Makara

Şamandıra  
S

ES Döner kol

#### 4.5 Deneysel Bulgular

Bias hızı, yıkama suyu ve köpük derinliği arasındaki ilişkileri analiz etmek amacıyla Jameson flotasyon hücresinde altı farklı deney yapılırken veriler otomatik olarak alınmıştır. Tüm deneylerde hold-up %55 ve besleme debisi 4 l/dak olarak ayarlanmıştır.

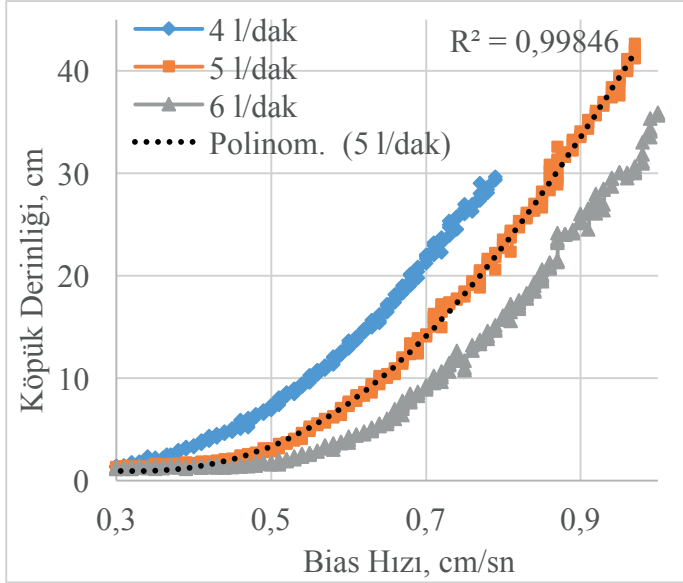
İlk üç deneyde 4, 5, 6 l/dak sabit yıkama suyu debilerinde otomatik olarak saniyede 0.005 artırılan bias hızına bağlı olarak köpük derinliği verileri alınmıştır (Şekil 9).

Son üç deneyde 0.75, 0.70, 0.65 cm/sn sabit bias hızlarında ve 10 l/dak yıkama suyu debisinde, 5 saniyede bir köpük derinliği verileri alınmıştır (Şekil 11 Şekil 11).

Şekil 9 incelendiğinde bias hızı arttıkça her üç debide de köpük derinliği artış eğilimi gözlemlenmektedir. Yıkama



suyu debisi azaldıkça konsantre taşması, daha düşük bias hızlarında sona ermiştir. Örneğin 4 l/dak yıkama suyu debisinde bias hızı 0.8 cm/sn ve köpük derinliği 30 cm de konsantre taşması sonlanırken, 6 l/dak yıkama suyu debisinde bias hızı 1.0 cm/sn ve köpük derinliği 35.5 cm de konsantre taşması sonlanmıştır. Ayrıca şekilde dördüncü derecen polinom regrasyonu yapıldığında korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) değerinin 1'e çok yakın olduğu görülmektedir.

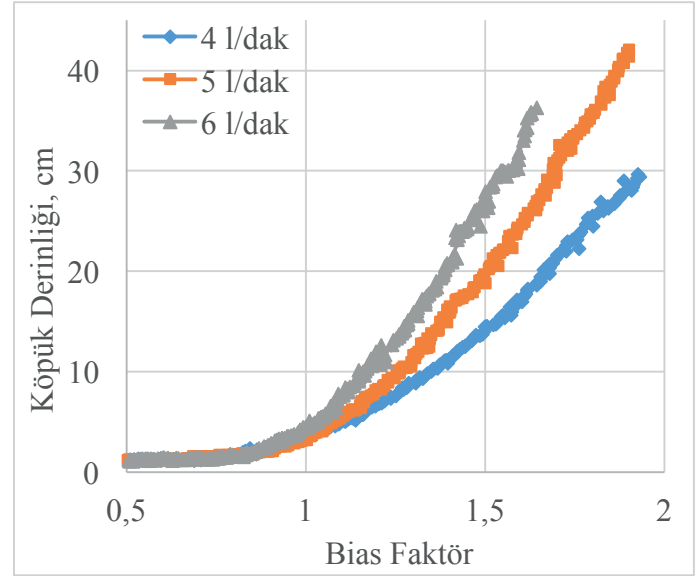


Şekil 9 Farklı yıkama suyu debilerinde bias hızı ile köpük derinliği ilişkisi

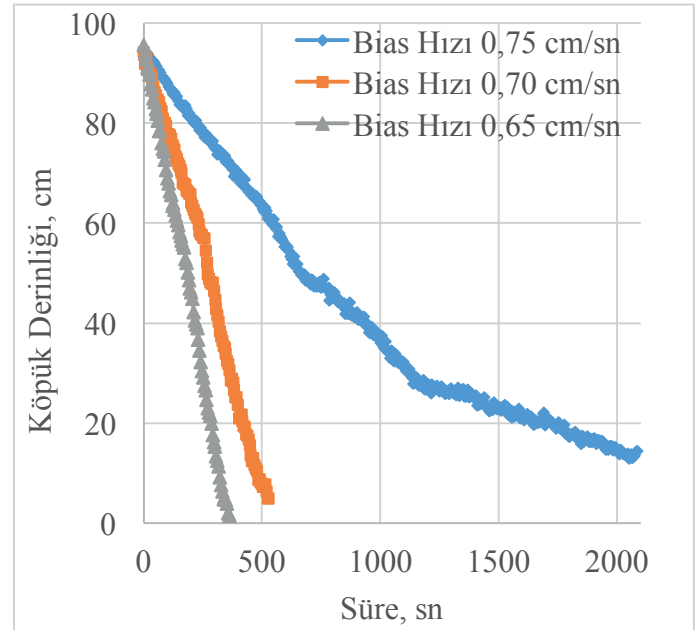
Bias hızı arttıkça, düşey borudaki serbest jet bölgesi uzunluğunun da arttığı gözlenmiştir.

Şekil 10'da bias faktör ile köpük derinliği ilişkisi de incelenmiş olup, anlık alınan verilere göre 0.6 ile 1.0 bias faktör değerlerinde köpük derinliğinin normalden düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun nedenini anlamak için sabit bias hızlarında süreye bağlı olarak köpük derinliği değişimi incelenmiştir (Şekil 11). Bu deneylere başlamadan önce, hücre tamamen (95 cm) köpük bölgesi haline getirilmiştir. Deney başlatıldıktan sonra köpük derinliği değişim azalması çok az oluncaya kadar deney verileri alınmıştır. Şekilde görüldüğü üzere bias hızı düştükçe köpük derinliğindeki azalma daha kısa sürede meydana gelmektedir. Ayrıca deneyler başlatıldıktan sonra hiçbir ayar değiştiril-memesine rağmen

köpük derinliğinin zaman içinde sıfıra doğru azaldığı görülmektedir.



Şekil 10 Farklı yıkama suyu debilerinde bias faktör ile köpük derinliği ilişkisi



Şekil 11 Sabit bias hızlarında süreye bağlı olarak köpük derinliği değişimi

Otomasyonla besleme, artık, yıkama suyu pompaların debilerinin kontrolü çok iyi yapıldığı için istenilen bias değeri kararlı bir şekilde kalmıştır.

Otomasyonla besleme, artık, yıkama suyu pompaların debilerinin kontrolü hassas yapıldığı için istenilen bias değeri ve köpük derinliği kararlı bir şekilde kalmıştır.

Debimetrelerde farklı akış miktarlarında farklı atım değerleri elde edilmiştir. Bu

nedenle akış hesaplamalarında ortalama atım değerleri kullanılarak hataların daha aza indirilmeye amaçlanmıştır.

## 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Jameson hücresinde manuel olarak kontrolü zor olan bias hızı ve köpük derinliği ikili faz ortamında ölçmesi ve otomatik olarak kontrollerinin PID kapalı çevrim kontrol sistemi ile sağlanmıştır. Anlık alınan bilgiler ile sistemin güvenli ve kararlı çalışması sağlanmıştır.

Bu aletle, şamandıra konumunun bir eğim sensörü ile tespit edilmesi sonucu köpük derinliğini 95 cm'ye kadar kontrol edilebilmektedir.

Anlık alınan verilere göre yıkama suyu debisi arttıkça köpük derinliği düşmektedir ve bias hızı arttıkça köpük derinliği artmaktadır.

Bias hızındaki düşmeye bağlı olarak (6, 5, 4 l/dak) köpük derinliğindeki azalma daha kısa sürede meydana gelmiştir.

Ayarlanan bias hızında oluşacak köpük derinliğinin dengeye gelmesi için uygun bir süre verilmesi gerekir.

Bias hızı arttıkça, düşey borudaki serbest jet bölgesi uzunluğunun da arttığı gözlenmiştir.

Şamandıranın hidrofilyk malzemeden seçilmesiyle hava kabarcıklarının yüzeye yapışması engellenmelidir. Böylece kritik bias hızlarında şamandıranın yukarı sürüklenmesinin veya askıda kalmasının önüne geçilebilecektir.

Bias hızına bağlı köpük derinliği değişimi regresyon analizine göre  $R^2$  değerinin 1'e çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Tam otomasyona sahip Jameson hücresi ile zenginleştirilmesi zor olan ince tane boyutlu cevherler sorunsuz zenginleştirilebilecektir. Ayrıca böyle bir alet çevre uygulamaları gibi diğer uygulamalarda da kullanılabilir. Bunun yanında laboratuvarında pilot ölçekte tasarımı yapılan bu alet ile yapılacak deneysel çalışmalar da daha hızlanacak ve üç fazlı sistemde endüstriye aktarımı mümkün olacaktır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, 2014/106 No'lu Proje desteğinden dolayı Dumlupınar Üniversitesi BAP birimine teşekkürü bir borç bilmektedirler.

## 6 KAYNAKLAR

Rao S. R and Leja J., 2004. "Surface Chemistry of Froth Flotation", 2nd Edition, Vol. 1, Kluwer Academic Publishers, New York.

Harold E. Wyslouzil, 2006, Mineral producers improve plant performance using column flotation technology, Canadian Process Technologies Inc. Vancouver, B.C. Canada.

Jameson, G.J., 1999. Hydrophobicity and floc density in induced-air flotation for water treatment. Elsevier-Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects 151, 269– 281.

Şahbaz, O., 2005, Removal of Unburned Carbon from Bottom Ash of Tuncbilek Power Plant, Dumlupınar University Institute of Science, Master Thesis, Kutahya, 2005 (In Turkish).

Şahbaz, O., 2010, Modification of Downcomer in Jameson Cell and Its Effect on Performance, Ph. D. Thesis, Dumlupınar University, Department of Mining Engineering, Turkey (In Turkish).

Çınar, M., Şahbaz, O., Çınar, F., Kelebek, Ş. and Öteyaka, B., 2007, Effect of Jameson cell operating variables and design characteristics on quartz-dodecylamine flotation system, Elsevier- Minerals Engineering, 20, pp. 1391-1396.

Evans, G.M., Atkinson, B.W., Jameson, G.J., 1995. The Jameson cell, Flotation Science and Engineering, Ed. Matis, K.A., pp. 331–363.

Harbort, G.J., Manlapig, E.V., DeBono, S.K., 2002. Particle collection within the Jameson cell downcomer. Trans. IMM Section C. V. 111/Proc. Australas IMM, vol. 307.

Jameson, G.J., 1988, A new concept in flotation column design, Prec. Column Flotation '88, Ed., KVS Sastry, Phoenix, Arizona.

Mohanty, M.K., and Honaker, R.Q., 1999, Performance optimization of Jameson flotation technology for fine coal cleaning, Minerals Engineering, Vol.12, No.4, pp. 367-381.

Mohanty, M.K., 2001, Technical Note in Plant Optimization of a Full Scale Jameson Cell, Minerals Engineering, 14, 1531-1536.

Rubio, J., M.L., Souza and R.W., Smith, 2002, Overview of Flotation as a Wastewater Treatment Technique, Mineral Engineering, V 15, pp 139-155.

Taşdemir, T., 2006, , Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Harbort, G.J., De Bono, S., Carr, D., Lawson, V., 2003. Jameson cell fundamentals. Miner. Eng. 16, 1091–1101.

# İyonik Yüzey Aktif Maddelerin Tunçbilek Linyit Kömürünün Aglomerasyon-Flotasyonuna Etkisi

## *The Effect of Ionic Surfactants on the Agglomeration-Flotation of Tunçbilek Lignite Coal*

E. Kılınç Aksay

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, İzmir*

V. Arslan

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği, İzmir*

H. Polat

*İzmir Yüksek Teknolojisi Enstitüsü, Maden Mühendisliği, İzmir*

**ÖZET** Bu çalışmada, bağlayıcı olarak dodekan (%10) varlığında anyonik ve katyonik yüzey aktif maddelerin Kütahya-Tunçbilek linyit kömürlerinin aglomerasyon-flotasyonuna etkileri araştırılmıştır. Anyonik yüzey aktif madde olarak  $10^{-4}$  M Sodyum Dioctylsulfosuccinate pH=3 ortamında, katyonik yüzey aktif madde olarak  $10^{-4}$  M Hexadecyltrimethyl Ammonium Chloride pH=9 ortamında kullanılmıştır. Herhangi bir yüzey aktif madde kullanılmadan, dodekan'ın bağlayıcı olarak aglomerasyon-flotasyon sisteminde kullanılmasıyla kömür konsantrasyonunun kül oranı azalmıştır. Dodekan'ın mekanik emülsifikasyonu neticesinde ise temiz kömür kazanma verimi %36,16'dan %55,1'e yükselmiştir. Anyonik ve katyonik yüzey aktif maddelerin dodekanla birlikte kullanılmasıyla temiz kömür kazanma verimi bir miktar daha artmıştır. Yüzey aktif maddelerin dodekanla birlikte mekanik emülsifikasyonu neticesinde ise anyonik yüzey aktif madde kullanımı daha başarılı sonuç vermiş, %17,5 kül oranına sahip temiz kömür konsantrasyonu, %68,7 kazanma verimiyle elde edilmiştir. Yüzey aktif maddelerin kullanıldığı sistemlerin temas açıları ve yüzey gerilimleri ölçülerek serbest enerjileri hesaplanmış ve anyonik yüzey aktif maddenin etkisinin, yağ-su arayüzeyine adsorplanarak arayüzey gerilimini düşürdüğü dolayısıyla yağın emülsiyeye edilmesine yardımcı olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, anyonik yüzey aktif madde sistemdeki yağ damlalarının sayısını arttırdığı için kömür taneleriyle yağ damlalarının çarpışma ve yapışma olasılığını arttırmıştır.

**ABSTRACT** In this study, the effects of anionic and cationic surfactants on the agglomeration-flotation of lignite coals of Kütahya-Tuncbilek in the presence of dodecane (10%) as a binding agent were investigated.  $10^{-4}$  M Sodium dioctylsulfosuccinate as anionic surfactant in pH 3 and  $10^{-4}$  M Hexadecyltrimethyl ammonium chloride as cationic surfactant in pH 9 were used. Without any surfactant, the use of dodecane as a binding agent in the agglomeration-flotation system reduced the ash content of the coal concentrate. The recovery of clean coal increased from %36.16 to 55.10% with the mechanical emulsification of dodecane. The use of anionic and cationic surfactants with dodecane slightly increased the recovery of clean coal. The mechanical emulsification of anionic surfactant with dodecane were more successful than cationic surfactant. A clean coal concentrate with the ash content of 17.5% was obtained with the recovery of 68.7%. Free energies of systems containing surfactants were calculated by measuring the contact angles and surface tensions. It has been

found that the adsorption of anionic surfactant to the oil-water interface reduces the interfacial tension and thus helps to emulsify the oil. As a result, the anionic surfactant increases the possibilities of collision and adhesion of oil droplets and coal particles due to the increasing of the number of oil droplets in the system.

## 1 GİRİŞ

Flotasyon, ince boyutlu kömürlerin (-300 µm) zenginleştirilmesinde kullanılan, kömürün organik ve inorganik bileşenlerinin yüzey özelliği farklılıklarından faydalanılarak yapılan yöntemlerden biridir (Aktaş, 2002; Kılınç-Aksay vd., 2010a). İnce boyutlu veya okside olmuş kömürlerin yanısıra kil minerallerinin varlığı flotasyonun etkinliğini azaltmakta, yöntemin selektivitesini ve kazanma verimini düşürmektedir (Wojcik ve Taweel, 1984). Flotasyonla zenginleştirilemeyen özellikle çok ince boyutlu tanelerin kazanılmasında etkili olan bir diğer yöntem ise yağ aglomerasyonudur. Flotasyonla karşılaştırıldığında, yüksek verim ve seçicilik sağlaması, kil, kül ve oksidasyonun daha az etkin olması, basit uygulanabilmesi ve çoğu zaman düşük nemli ürünler vermesi nedeniyle filtrasyona veya termal susuzlandırmaya ihtiyaç duymaması yöntemin en önemli avantajlarıdır (Yoon, 1991; Yamık vd., 1994; Hacıfazlıoğlu, 2008).

Aglomerasyonda kullanılan yağ, kömür taneleri için bağlayıcı bir ortam oluşturur. Kömür taneleri, sistemdeki karıştırma hızının ve yağın etkisiyle birbirlerine yapışarak, daha iri boyutlu ve sağlam yapılı taneler (aglomerat) haline gelmektedir (Demirel, 1977, Capes, 1980; Capes ve Jonasson, 1988; Kılınç, 2000; Kılınç-Aksay vd., 2010a ve b). Dolayısıyla sistemi denetim altında tutan en önemli parametreler a) kömür yüzeyinin özellikleri b) katı miktarına bağlı olarak kullanılan bağlayıcının (yağ) miktarı c) karıştırma hızıdır (Kılınç, 2000). Oluşan aglomeratlar ise, eleme veya flotasyon yöntemleri ile kolayca ayrılabilirler.

Sistem içinde dağılmış halde bulunan ortamların (kömür ve yağ taneleri) yüzey özelliklerini değiştirmek amacıyla, çeşitli

yüzey aktif maddeler kullanılmaktadır. Bu maddeler, kömür-su ve yağ-su arayüzeylerine adsorbe olarak, aglomerasyon mekanizmasının sonucunu etkilerler. Aglomerasyondaki yüzey aktif maddelerin rolü oldukça karmaşıktır. Arayüzeylerde oluşan adsorbsiyonun miktarı ve mekanizması, yüzey aktif maddenin tipi, konsantrasyonu, sisteme verilmiş şekli, sistemin karıştırılma hızı, kömür ve yağ tanelerinin boyutu, kömürleşme derecesi gibi birçok parametreye bağlıdır (Polat ve Chander, 1992; Chander vd., 1995, Kılınç, 2000). Özellikle linyit kömüründen aglomerasyonla temiz kömür kazanma yönündeki araştırmalar hala devam etmektedir (Pawlak vd., 1986 ve 1987, Cebeci ve Eroğlu, 1998, Kılınç, 2000, Laskowski ve Yu, 2000, Gürses vd., 2003, Ünal ve Erşan, 2005 ve 2007, Temel vd., 2009, Cebeci, 2002, Cebeci ve Sönmez, 2002, Düzyol vd., 2014)

Bu çalışmada, Kütahya-Tunçbilek linyit kömürünün aglomerasyon-flotasyon ile zenginleştirilmesinde bağlayıcı olarak dodekan ile birlikte anyonik ve katyonik yüzey aktif maddelerin kullanımının etkileri araştırılmıştır.

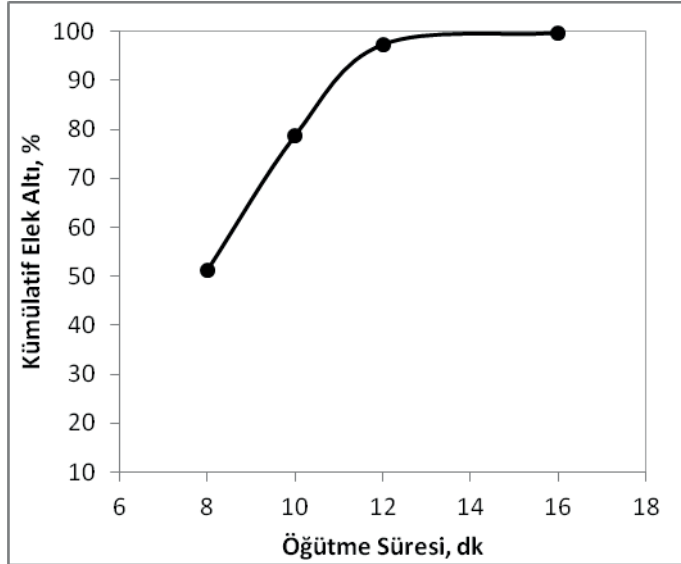
## 2 MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada Kütahya-Tunçbilek linyit kömürleri kullanılmıştır. Tunçbilek linyit kömürü sert linyit sınıfına giren, ASTM sınıflandırmasına göre yarı bitümlü kömürler ile bitümlü kömürler arasında yer alan bir kömürdür. Çalışmada kullanılan örneğe ait analizler Çizelge 1'de sunulmuştur. Çizelge 1'de görüldüğü gibi, Tunçbilek linyit kömürü yüksek kül (%36,16) ve kükürt (%0,73) içeriğine sahip bir kömürdür. Tunçbilek linyit tüvenan kömürü dişli merdaneli ve

çeneli kırıcılarla kırıldıktan sonra süreye bağlı olarak bilyalı değirmende yaş öğütülmüştür (Şekil 1). Şekil 1'den de görüldüğü gibi 11 dk öğütme ile Tunçbilek linyit kömürü -100 µm'a öğütülmüştür.

Çizelge 1. Tunçbilek linyit kömürünün kimyasal analiz sonuçları

Analiz	
Nem, %	5,49
Kül, %	36,16
Sabit C, %	29,80
Yanar S, %	0,73
Top.S, %	1,25
Uçu. Mad., %	26,57
Alt Isı Değ., Kcal/kg	3606



Şekil 1. Öğütme Süresine Bağlı Kümülatif Elektaltı Eğrisi (- 100 µm)

Tunçbilek linyit kömürünün zenginleştirilmesi aglomerasyon-flotasyon yöntemi ile sağlanmıştır. Linyit kömürü aglomerasyon yöntemi ile aglomere

edildikten sonra oluşan aglomeratlar flotasyon yöntemiyle kazanılmıştır. Bağlayıcı (yağ) olarak %99 saflıkta Dodekan (Dodecane-CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>10</sub>CH<sub>3</sub>) kullanılmış, Sigma Chemical Co., (Almanya)'dan temin edilmiştir.

Tüm aglomerasyon-flotasyon çalışmaları, -100 µm tane iriliğine sahip linyit kömürü ile %10-katı konsantrasyonunda yapılmıştır. Yağ (Dodekan), kömür miktarına göre %10 oranında ortama ilave edilmiştir. Tunçbilek linyit kömürü, 1000 rpm hızda 5 dakika süre ile dağıtılmış ve sonra 15 dakika süre ile 2000 rpm hızda aglomere edilmiştir. Flotasyonda ise 600gr/ton Dowfroth-1012 ile 1 dakika boyunca kondisyonlandıktan sonra 6 dakika süreyle temiz kömür kazanılmıştır.

Aglomerasyon, Ika Eurostar Power digi-visc tipi yüksek devirli karıştırıcı ile 2 litrelik standart selülde yapılmıştır (Holland & Chapman, 1966). Flotasyon ise KHD Humboldt Wedag AG tipi flotasyon cihazı kullanılmıştır. Yağın emülsifikasyonu yüksek devirli bir blender ile sağlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan iyonik yapılu yüzey aktif maddeler Sigma Chemical Coop., Almanya'dan temin edilmiştir. Anyonik ve katyonik yüzey aktif maddelerin özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Ortamın pH'sı, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaOH ile ayarlanmıştır. Yüzey gerilimi ölçümleri, Kruss Dijital Tensiometer K10T marka yüzey gerilimi cihazında halka (ring) metodu kullanılarak yapılmıştır. Kontak açısı ölçümleri, kömür/hava/su sisteminde sessile drop yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Her bir damlanın, katı yüzeyiyle yapmış olduğu açı Goniometer mikroskopi ile ölçülmüştür.

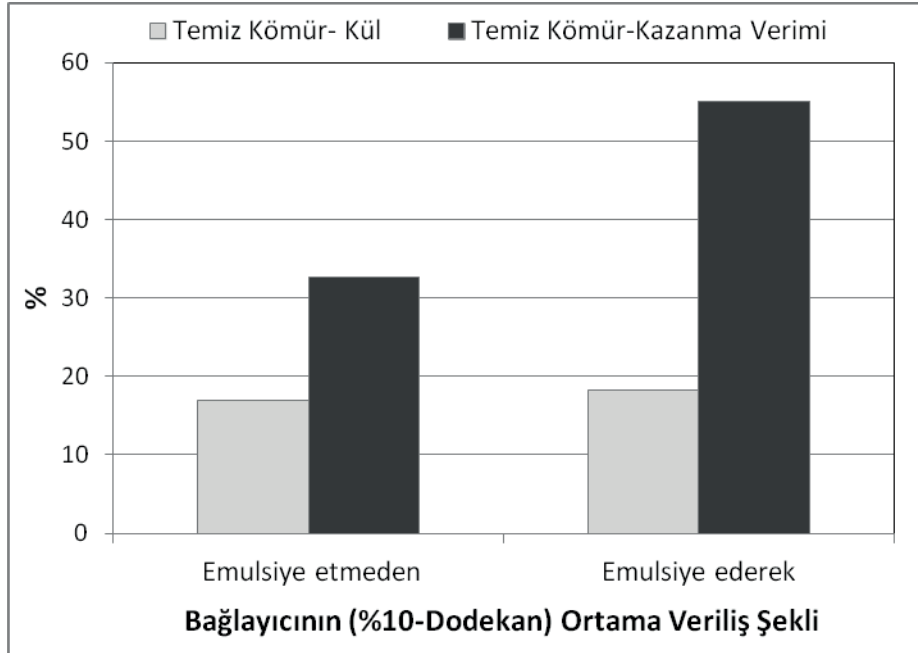
Çizelge 2. İyonik Yüzey Aktif Maddelerin Özellikleri

Yüzey Aktif Madde Türü	Türü	Kimyasal Formülü	Molekül Ağırlığı, gr/mol
Sodyum Dioctylsulfosuccinate	Anyonik	C <sub>20</sub> H <sub>38</sub> O <sub>7</sub> S	445
Hexadecyltrimethyl Ammonium Chloride	Katyonik	C <sub>19</sub> H <sub>42</sub> ClN	320

### 3 DEĞERLENDİRMELER

İnce boyutlu (-100 µm) Tunçbilek linyit kömürünün aglomerasyon-flotasyonunda bağlayıcı olarak %10 dodekan kullanılmıştır. Şekil 2, Dodekan'ın aglomerasyon-flotasyon sistemine ilave edilmiş şeklinin kül ve verim açısından temiz kömür kazanımına etkisini gösterilmektedir. Dodekan sisteme su içerisinde yüksek devirli bir karıştırıcı (blender) ile mekanik olarak emülsiyeye edilerek yada emülsiyeye edilmeden direkt olarak verilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi,

%10 Dodekan kullanarak (emülsiyeye ederek veya etmeden) aglomerasyon-flotasyon yöntemiyle Tunçbilek linyit kömürünün kül oranı %36,16'dan %17-18'e azalmıştır. Aglomerasyon-flotasyon sisteminde emülsiyeye ederek veya etmeden kullanılan Dodekan ile elde edilen temiz kömür konsantrinin kül oranları birbirine yakın (%17-18) değerlerdir. Ancak Dodekan'ın mekanik emulsifikasyonu ile temiz kömür kazanma verimi %32,7'den %55,1'e yükselmiştir.



Şekil 2. Tunçbilek linyit kömürünün aglomerasyon-flotasyonuna Dodekan'ın ilave edilmiş şeklinin etkisi

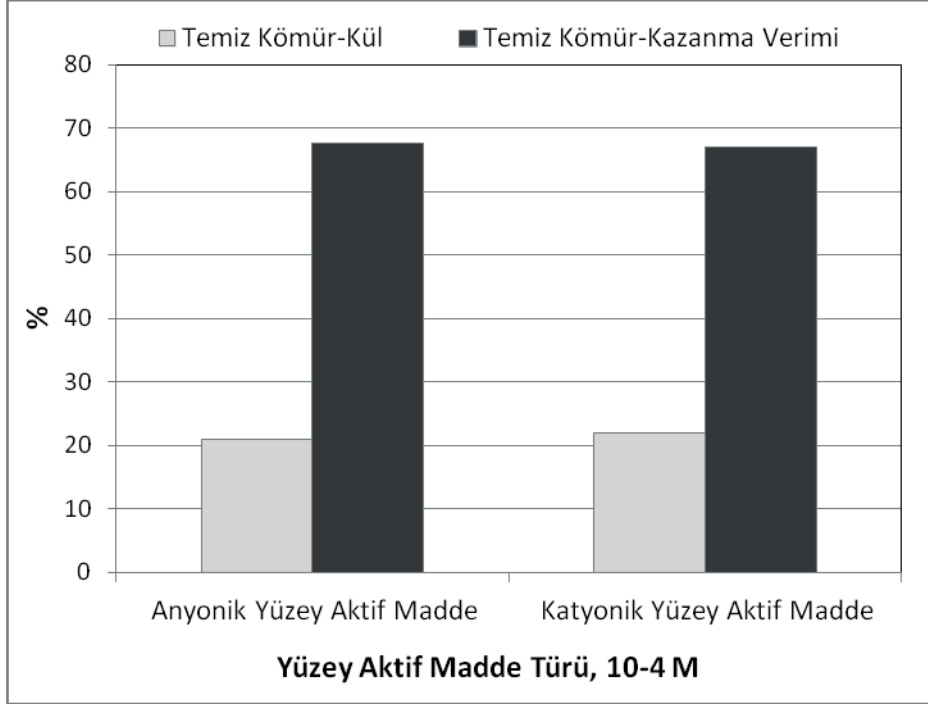
Şekil 3'de ince boyutlu Tunçbilek linyit kömürünün emülsiyeye Dodekan (%10) kullanılarak yapılan aglomerasyon-flotasyonuna iyonik yapıları anyonik ve katyonik yüzey aktif maddelerin etkisi gösterilmektedir. Aglomerasyon-flotasyon sisteminde anyonik yüzey aktif madde olarak  $10^{-4}$  M Sodyum Dioctylsulfosuccinate pH=3 ortamında, katyonik yüzey aktif madde olarak  $10^{-4}$  M Hexadecyltrimethyl Ammonium Chloride pH=9 ortamında kullanılmıştır. Yüzey aktif maddeleri emülsiyeye Dodekan'dan önce sisteme verilmiştir. Şekil 3'den görüldüğü gibi,

anyonik ve katyonik yüzey aktif maddelerin kullanımıyla konsantre kül oranı (%21) ile kazanma verimleri (%67) yönünden birbirlerine oldukça yakın değerlerde ürünler elde edildiği görülmektedir. Anyonik ve katyonik yüzey aktif maddelerin aglomerasyon-flotasyon sistemine verilmesi konsantrinin kül oranını bir miktar arttırmaya rağmen, kazanma verimlerini %55,1'den %67'e arttırmıştır.

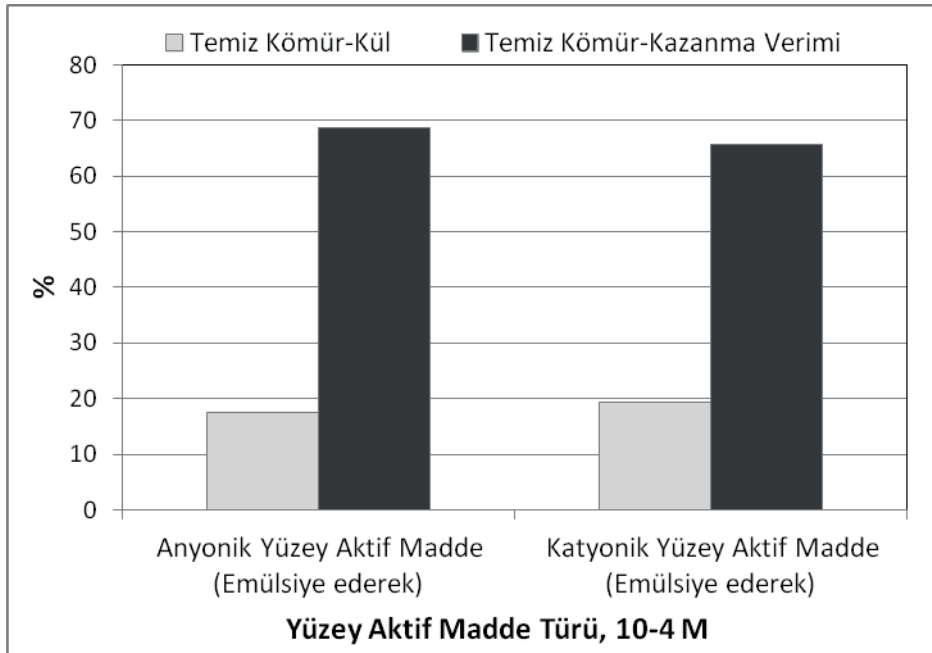
Şekil 4'de ince boyutlu Tunçbilek linyit kömürünün aglomerasyon-flotasyonunda iyonik yapıları anyonik ve katyonik yüzey aktif maddelerin Dodekan (%10) ile birlikte

emülsiyeye edilmesinin kül ve kazanma verimi açısından temiz kömür kazanımına etkisi gösterilmektedir. Şekil 4'den de görüldüğü gibi, anyonik ve katyonik yüzey aktif maddelerin dodekan (%10) ile birlikte emülsiyeye edilerek aglomerasyon-flotasyon sistemine verilmesiyle temiz kömür konsantrelerinin kül oranları bir miktar

azalmış, temiz kömür kazanma verimleri ise bir miktar artmıştır. Her iki yüzey aktif maddenin bu şekilde kullanımından elde edilen ürünlerin kül ve kazanma verimleri birbirine yakın olmasına rağmen, özellikle anyonik yüzey aktif madde kullanımında %17,5 kül içeren temiz kömür konsantrisi %68,7 kazanma verimiyle elde edilmiştir.



Şekil 3. İyonik yüzey aktif maddelerin Tunçbilek linyit kömürünün aglomerasyon-flotasyonuna etkisi



Şekil 4. Tunçbilek linyit kömürünün aglomerasyon-flotasyonuna emülsiyeye iyonik yüzey aktif maddelerin etkisi

Aglomerasyon-flotasyon sistemindeki kömür tanelerinin etrafında bulunan ve ıslanmasını sağlayan suyun, yağ damlası ile yer değiştirmesinin kolaylığı ve derecesi hakkında sistemlerin serbest enerjileri hesaplanarak fikir edinilebilir. Çizelge 3’de

yüzey aktif maddelerin kömür yüzeyindeki temas (kontak) açısı, hava/su yüzey gerilimi ve sistemin serbest enerjisi verilmiştir. Sistemin serbest enerjisi  $\Delta G = \gamma_{hs/ys} (\cos\theta - 1)$  bağıntısıyla hesap edilmiştir.

Çizelge 3. Yüzey aktif maddelerin yağın kömür yüzeyine yapışma serbest enerjisine ( $\Delta G$ ) etkisi

Yüzey Aktif Madde Türü	Konsantrasyon, M	Ort. Kontak Açısı, derece	Hava-Su Yüzey Gerilimi, dyn/cm	Serbest Enerji
Saf su	--	64,30	72,00	-40,78
Dioctylsulfosuccinate	-7	62,84	65,50	-35,60
	-6	60,95	60,50	-31,12
	-5	57,85	57,70	-27,00
	-4	43,17	41,43	-11,21
	-3	23,50	29,53	-2,45
Hexadecyltrimethyl Ammonium Chloride	-7	67,11	69,48	-42,45
	-6	64,88	67,47	-38,83
	-5	61,18	64,33	-33,32
	-4	64,08	61,87	-34,83
	-3	57,50	54,93	-25,42

Çizelge 3’de görüldüğü gibi, saf suyun yüzey gerilimi 72 dyn/cm, saf suyun Tunçbilek linyit kömürü ile yaptığı kontak açısı 64,30° ve dolayısıyla sistemin serbest enerjisi -40,78 olmuştur. Anyonik ve katyonik yüzey aktif maddelerin kömür yüzeyiyle yapmış olduğu kontak açısına bakıldığında, özellikle 10<sup>-7</sup> ve 10<sup>-6</sup> M katyonik yüzey aktif maddenin kontak açısının saf suyunkile hemen hemen aynı veya çok az büyük olduğu görülmektedir. Bu sonuç, katyonik yüzey aktif maddenin kömür yüzeyini bir miktar hidrofob özellik kazandırdığını göstermektedir. Bu anlamda, anyonik yüzey aktif maddenin kömür yüzeyinin hidrofobik özelliğine hiç bir etkisi olmamıştır. Görüldüğü gibi yağ damlası ile kömür tanesi arasındaki yapışmanın en olası olduğu durum saf su durumudur. Yüzey aktif maddeler,  $\Delta G$ ’nin hala negatif olmasına karşılık bu değeri biraz düşürür. Yani hala simultane yapışma vardır. Ancak, değeri biraz daha düşük veya çok düşüktür.

Dolayısıyla anyonik yüzey aktif maddesinin etkisinin, katyonik yüzey aktif madde gibi kömür yüzeyini daha hidrofobik yapmalarından çok, yağ-su arayüzeyine adsorplanarak ve dolayısıyla arayüzey gerilimini düşürerek yağ damlalarının sayısını arttırdığı yani yağın emülsiyeye edilmesine yardımcı olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 4 SONUÇLAR

Bu çalışmada Kütahya-Tunçbilek linyit kömürlerinin aglomerasyon-flotasyon yöntemiyle kazanılmasına anyonik ve katyonik yüzey aktif maddelerin etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

1. Aglomerasyon-flotasyon sisteminde dodekanın bağlayıcı olarak kullanılmasıyla linyit kömürünün kül oranı %36,16’dan %17-18’e azalmış, dodekanın mekanik



emülsifikasyonu ile temiz kömür kazanma verimi %32,7'den %55,1'e arttırmıştır.

2. Anyonik ( $10^{-4}$  M) ve katyonik ( $10^{-4}$  M) yüzey aktif maddelerin emülsiyeye Dodekan (%10) ile birlikte aglomerasyon-flotasyon sistemine verilmesi temiz kömür konsantrasyonunun kül oranını bir miktar (%21-22) arttırmasına rağmen, kazanma verimlerini %55,1'den %67-67,5'a arttırmıştır.

3. Anyonik yüzey aktif maddesinin dodekan (%10) ile birlikte emülsiyeye edilerek aglomerasyon-flotasyon sisteminde kullanımıyla %17,5 kül oranına sahip temiz kömür konsantrasyonu, %68,7 kazanma verimiyle elde edilmiştir. Bu durumda, anyonik yüzey aktif maddesinin etkisinin, yağ-su arayüzeyine adsorplanarak ve dolayısıyla arayüzey gerilimini düşürerek yağ damlacıklarının sayısını arttırdığı yani yağın emülsiyeye edilmesine yardımcı olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, Tunçbilek linyit kömürünün aglomerasyon-flotasyonunda bağlayıcı olarak %10 dodekan'ın  $10^{-4}$  M anyonik yüzey aktif maddesi (Dioctylsulfosuccinate) ile birlikte emülsiyeye edilerek pH 3 ortamında kullanılması sistemdeki yağ damlacıklarının sayısını arttırmış, dolayısıyla kömür taneleri ile yağ damlacıklarının çarpışma ve yapışma olasılığını arttırması nedeniyle düşük kül değerine sahip temiz kömür konsantrasyonu yüksek verimle üretilebilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Aktaş, Z., 2002. Some Factors Affecting Spherical Oil Agglomeration Performance of Coal Fines, *International Journal of Mineral Processing* 65, 177-190.
- Cebeci, Y., Eroğlu, N., 1998. Determination of Bridging Liquid Type in Oil Agglomeration of Lignites, *Fuel* 77 (5), 419-424.
- Cebeci, Y., 2002. The Investigation Of The Floatability Improvement Of Yozgat Ayridam Lignite Using Various Collectors, *Fuel*, Volume 81, Issue 3, 281-289.
- Cebeci, Y., Sönmez, İ., 2002. The investigation of coal-pyrite/lignite concentration and their

- separation in the artificial mixture by oil agglomeration, *Fuel* 81, 1139-1146.
- Capes, C. E., 1980. Principles and Applications of Size Enlargement in Liquid Systems, *Fine Particles Processing*, AIME, Vol.2, 1442-1462.
- Capes, C. E., Jonasson, K. A., 1988. Application of Oil-Water of Coals in Beneficiation, *Interfacial Phenomena in Coal Technology*, Surfactant Science Series, v.32.
- Chander, S., Polat, H., Polat, M., 1995. High Efficiency Coal Cleaning by A High Shear Treatment-Flotation Process, *Proceedings of The High Efficiency Coal Preparation Symposium*, 197-205.
- Demirel, H., 1977. Toz Kömürün Küresel Aglomerasyonla Kazanılması, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik V. Kongresi*, Ankara, 3-22.
- Düzyol, S., Aksu, C.A.Ö., Erişir, H.S., Aspir, K., Şensöğüt, C., 2014. Tunçbilek linyit kömürünün aglomerasyon yöntemiyle zenginleştirilmesi, *Türkiye 19. Kömür Kongresi-Zonguldak*, 237-244.
- Gürses, A., Doymus, K., Doğar, Ç., Yalçın, M., 2003. Investigation of Agglomeration Rates of Two Turkish Lignites, *Energy Conversion and Management* 44, 1247-1257.
- Hacıfazlıoğlu, H., 2008. Azdavay Kömürünün Yağ Aglomerasyonu ve Bazı Önemli Çalışma Parametrelerinin Etkilerinin Belirlenmesi, *Madencilik*, Cilt 47, Sayı 4, 3-11.
- Holland, F.A., Chapman, F.S., 1966. *Liquid Mixing And Processing Stirred Tanks*, Reinhold Publishing, Newyork, NY.
- Kılınç, E., 2000. Toz Kömürlerin Yağ Aglomerasyonu ile Zenginleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kılınç-Aksay, E., Arslan, V., Polat, H., 2010a. Toz Kömürlerin Zenginleştirilmesinde Yağ Aglomerasyonu Yöntemi ve Yenilikler, *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, C. 23, S. 2, 97-108
- Kılınç-Aksay, E., Arslan, V., Polat, H., 2010b, Agglomeration-Flotation of Fine Lignite Coal Using Pure Hydrocarbons, XII. *International Mineral Processing Symposium*, 951-955, Cappadocia-Nevşehir, Turkey.
- Laskowski, S. J., Yu, Z. M., 2000, *Oil Agglomeration and Its Effect on Beneficiation*

- and Filtration of Low-Rank/Oxidized Coals, International Journal of Mineral Processing 58, 237-252.
- Pawlak, W., Turak, A., Janiak, J., Briker, Y., Ignasiak, B., 1986. Oil Agglomeration of Low-Rank Coals and Development of Methods For Recovery of Oil from Agglomerates, 11<sup>th</sup> Annual EPRI Contractors'Conference on Clean Liquid and Solid Fuels, Polo Alto.
- Pawlak, W., Turak, A., Janiak, J., Briker, Y., Ignasiak, B., 1987. Coal Upgrading by Selective Agglomeration, 12<sup>th</sup> Annual Conference on Fuel Science and Conversion EPRI, California.
- Polat, M., Chander, S., 1992. Kinetics of Emulsification in The Presence of Fine Particles, Dispersion and Aggregation: Fundamentals and Applications, Engineering Foundation Conferences, Editör: Moudgil, B.M., Somasundaran, 515-536.
- Temel, A. H., Bozkurt, V., Majumder, A. K., 2009. Selective Oil Agglomeration of Lignite, Energy and Fuels 23, 779-784.
- Ünal, İ., Erşan, G. M., 2005. Oil Agglomeration of A Lignite Treated with Microwave Energy: Effect of Particle Size and Bridging Oil, Fuel Processing Technology 87, 71-76.
- Ünal, İ., Erşan, G. M., 2007. Factors Affecting The Oil Agglomeration of Sivas-Divriği-Uluçayır Lignite, Energy Sources, 29, Part A, 983-993.
- Wojcik, W. Al Taweel, A. M., 1984. Beneficiation of Coal Fines by Aggregative Flotation, Powder Technology 40, 179-185.
- Yoon, R. H., 1991. Advanced Coal Cleaning, Coal Preparation Book, Part:2, Editör: Joseph W. Leonard & Byron C. Hardince, 966-1005.

# Isıl Ön işlemlerin Linyit Artıklarının Flotasyonuna Etkileri

## *Effects of Thermal Pre-treatments on Flotation of Lignite Tailings*

Y. Baktarhan, C. Gungoren, I. Demir, S.G. Ozkan, O. Ozdemir

*İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

**ÖZET** Kömür flotasyonunda yüksek ısıl değerlere ve kömürleşme derecesine sahip kömürler doğal olarak hidrofobik davranış sergilerken, düşük ısıl değerlere sahip kömürler daha fazla hidrofilik özellik taşırlar. Buna göre; taşkömürlerinin flotasyon ile yüzdürülmesinin kolay olduğu, ancak linyit kömürlerinin yüzebilmesi için daha fazla toplayıcı reaktife ihtiyaç duydukları da bilinmektedir. Düşük kalitedeki kömürler ısıtıldıklarında hidrofobluklarının arttığı önceki araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Bu çalışmada, Ankara-Çayırhan yöresi linyit kömürü artıklarının flotasyonuna ısıl ön işlemin etkileri toplayıcı olarak dizel, köpürtücü olarak ise metil izobütil karbinol (MIBC) kullanılarak araştırılmıştır. Bu amaçla, ısıl ön işlem görmemiş, konvansiyonel veya mikrodalga ön işleme tabi tutulmuş kömür artıklarının flotasyonu gerçekleştirilerek, sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda 10.000 g/t dizel dozajında %6,42 olan yanabilir verimin 105°C’de 120 dk konvansiyonel ısıl ön işleme %7,76’ya 400 W ve 700 W güçlerde 10 dk mikrodalga ön işleme ise sırasıyla %13,07 ve %17,46’ya çıktığı saptanmıştır. Bu işlemlerde yüzen ürünlerin kül içerikleri ise sırasıyla %23,38, %24,14, %21,49 ve %21,19 olmaktadır.

**ABSTRACT** In coal flotation, the coals with high calorific values and coalification ranks are known as naturally hydrophobic, while the ones with lower calorific value have hydrophilic properties. Accordingly, while bituminous hard coals are easily floated, the lignitic coals require higher collector dosages. In the literature, it is reported that the hydrophobicity of the low rank coals can be increased with heating processes. In this study, the effects of thermal treatment on the flotation of the lignite tailings of Ankara-Çayırhan were studied using diesel oil as a collector, and methyl isobutyl carbinol (MIBC) as a frother, respectively. For this purpose, the flotation of the coal tailings without thermal treatment, with conventional thermal pre-treatment or with microwave pre-treatment was carried out and the results were compared to each other.

As a result, the combustible recovery increased from 6.42% at 10.000 g/t diesel oil dosage at 105°C to 7.76% by conventional thermal pre-treatment, and to 13.07% and 17.46% by microwave pre-treatment. Meanwhile, the ash contents of the floated products were 23.38%, 24.14%, 21.49%, and 21.19%, respectively.

## 1 GİRİŞ

Kömür flotasyonunda yüksek ısı değerlere ve kömürleşme derecesine sahip kömürler doğal olarak hidrofobik davranış sergilerken, düşük ısı değerlere sahip kömürler daha fazla hidrofilik özellik taşırlar. Buna göre; taşkömürlerinin flotasyon ile yüzdürülmesinin kolay olduğu, ancak linyit kömürlerinin yüzebilmesi için daha fazla toplayıcı reaktife ihtiyaç duydukları da bilinmektedir. Düşük kalitedeki kömürler ısıtıldıklarında hidrofobluklarının arttığı önceki araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. (Cınar, 2009; Özbayoğlu vd., 2009; Xia vd., 2013).

Kömürlerin ısıtılması konvansiyonel yollarla yapılabildiği gibi mikrodalga radyasyon ile de gerçekleştirilebilir. Mikrodalga 1 mm ile 1000 mm arasında dalga boyunda ve 300 MHz ile 300 GHz arasında frekanslarda yayılan bir elektromanyetik dalgadır. Isıtma amaçlı olarak ev tipi mikrodalga fırınlarda 2450 MHz frekans kullanılır. Mikrodalga fırınlarda sürekli oluşturulup ortadan kaldırılan elektromanyetik alanlar malzemenin içerisinde bulunan su molekülü ve benzer dipol molekülleri hareket ettirirler. Bu hareket sonucunda bir iç sürtünme ve dolayısı ile ısı açığa çıkar. Böylece malzeme içten dışa doğru ısınır (Vorster, 2001; Al-Harashsheh ve Kingman, 2004; Uslu ve Atalay, 2004; Eskibalci, 2007; Toraman ve Depçi, 2007; Güngören, 2009; Özkan vd., 2009; Toraman, 2010; Eskibalci ve Özkan, 2012; Tosun, 2015; Güngören vd., 2016).

Son yıllarda literatürde farklı tipte cevher ve kömürlerin flotasyonunda mikrodalga enerjisi kullanımı üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır:

Kingman ve Rowson (1998) mikrodalgaların mineraller üzerinde kullanımı hakkında yapılan çalışmaları derlemiştir. Binner vd. (2016) kömür hazırlamada mikrodalga kullanımı üzerinde yapılan çalışmaları incelemiştir.

Özbayoğlu vd. (2009) kollektör olarak heptanol ve oktanol reaktiflerinin kullanıldığı kömür flotasyonunda mikrodalga ısıtma işlemleri uygulamış, hem konvansiyonel hem mikrodalga ısıtmanın flotasyon verimini arttırdığını bildirmiştir.

Irannajad vd. (2014) ilmenit flotasyonunda önışlem olarak mikrodalga uygulamışlardır. Mikrodalga radyasyonun  $Fe^{2+}$  yı  $Fe^{3+}$  ya dönüştürdüğünü saptamışlardır. Mikrodalga uygulama ile ilmenitin temas açısı tüm pH ölçümlerinde artmıştır. Zeta potansiyeli ise düşmüştür. Flotasyon veriminde kollektör

dozajına bağlı olarak ciddi artışlar elde etmişlerdir. Yine mikrodalga uygulanan başka bir çalışmada Fan vd. (2013) ilmenit flotasyon verimini %20 arttırmayı başarmışlardır.

Xia vd. (2014a); Xia vd. (2014b) oksitlenmiş kömürün hidrofobitesini arttırmak amacıyla mikrodalga kullanmış ısı ön işlem süresi ile yanabilir verimin arttığını bildirmişlerdir. Flotasyondaki bu iyileşmeyi “-OH” içeriğinin düşmesine ve/veya “-CH<sub>3</sub>” içeriğinin artmasına bağlamışlardır.

Batchelor vd. (2016) porfiri bakır cevherinin flotasyonundan önce numuneleri mikrodalgaya tabi tutarak flotasyon veriminde hafif bir artış sağlamıştır.

Hendaa vd. (2016) nikel-bakır cevheri flotasyonunda mikrodalga kullanmışlar, verim ve tenörlerde artış elde etmişlerdir.

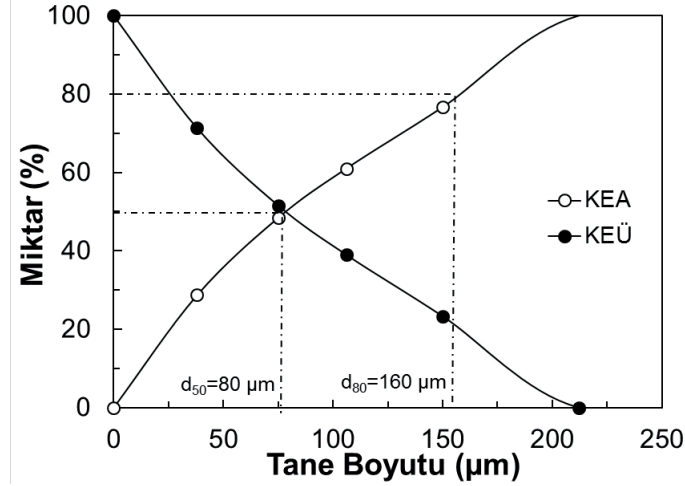
Yapılan önceki çalışmaların ışığında bu çalışmada, Ankara-Çayırhan bölgesinden temin edilen linyit kömürü artıklarının flotasyonuna ısı ön işlemin etkileri toplayıcı olarak dizel, köpürtücü olarak ise metil izobütil karbinol (MIBC) kullanılarak araştırılmıştır. Bu amaçla, ısı ön işlem görmemiş, konvansiyonel ve mikrodalga ön işleme tabi tutulmuş kömür artığının flotasyonu gerçekleştirilerek, sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

## 2 MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1 Malzeme

Bu çalışma kapsamında Ankara-Çayırhan yöresinden temsili olarak temin edilen kömür (linyit) artıkları flotasyon deneylerinde kullanılmak üzere sırasıyla açık devre çeneli ve kapalı devre merdaneli kırıcılar ile kırılmış ve ardından seramik bilyeli değirmen kullanılarak 212 µm altına öğütülmüştür. Değirmen çıkışı numunenin tane boyut dağılımı elek analizi ile tespit edilmiş ve sonuçlar Şekil 1’de verilmiştir. Numunenin  $d_{50}$  ve  $d_{80}$  boyutları sırasıyla 80 ve 160 µm olarak tespit edilmiştir. Daha sonra numune 38 µm açıklı elekten elenerek şlamı uzaklaştırılmıştır. Elde edilen 212×38 µm ve 38 µm altı numunelere kül analizi yapılmış, 212×38 µm tane boyutundaki malzemenin %43,03, 38 µm altı malzemenin ise %69,37 kül içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Flotasyon deneylerinde şlamın olumsuz etkisini ortadan kaldırmak amacıyla

212×38 µm boyutlu malzeme kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 1. Numunenin öğütme sonrası tane boyut dağılımı.

## 2.2 Isıl İşlem

Isıl ön işlem kapsamında, 212×38 µm tane boyutundaki numuneler, konvansiyonel ve mikrodalga ısıl işleme tabi tutulmuşlardır. Konvansiyonel ısıtma bir etüv (Mimmert, Almanya) yardımıyla 105°C'de 30 dk süreyle yapılmıştır. Mikrodalga ısıtma ise bir ev tipi mikrodalga fırın (Moulinex-Compact, Fransa) kullanılarak, 400 ve 700 W güçlerde 10 dk süre ile gerçekleştirilmiştir. Isıtma işlemlerinde 120 g numune kullanılmıştır. 400 W güçte 15 dk, 700 W güçte ise 12 dk'dan sonra kömürün yandığı gözlenmiştir. Bu sebeple en yüksek ısıl ön işlem süresi 10 dk olarak seçilmiştir.

## 2.3 Flotasyon

Flotasyon deneyleri Denver D-12 flotasyon makinesi ile 1 L'lik flotasyon hücresinde, %10 pülpte katı oranında, 1000 dev/dk karıştırma hızında, 10 L/dk hava debisinde ve doğal pH'da (7,5-8,0) gerçekleştirilmiştir. Deneylerde musluk suyu, kollektör olarak çeşitli dozajlarda dizel (3.000, 5.000, 7.000, 10.000 g/t), ve köpürtücü olarak ise 300 g/t metil izobutil karbinol (MIBC) kullanılmıştır. Flotasyon deneylerinde ilk önce süspansiyon kimyasalsız olarak 2 dk kondisyonlanmış, ardından kollektör eklenip 2 dk, köpürtücü eklendikten sonra ise 1 dk olmak üzere toplam 5 dk süre ile kondisyonlanmıştır. Ardından hava valfi açılarak 3 dk süre ile flotasyon gerçekleştirilmiştir. Flotasyon ürünleri filtrasyon işlemi ardından etüvde 105°C'de kurutulmuş ve kül analizleri, bir kül fırını (Protherm, Türkiye) yardımı ile 815°C'de ASTM D3174 standardına uygun olarak yapılmıştır.

## 3 BULGULAR

Besleme ve flotasyon ürünlerinin kül içeriğinden yola çıkılarak yanabilir verim, Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır (Önal vd., 1994; Sivrikaya, 2014; Tozsın vd., 2016).

$$\text{Yanabilir Verim (\%)} = \frac{K \cdot (100 - X_k)}{B \cdot (100 - X_b)} \cdot 100 \quad (1)$$

Burada konsantre ve beslemenin miktarları sırasıyla K ve B iken, külleri ise  $X_k$  ve  $X_b$ 'dir.

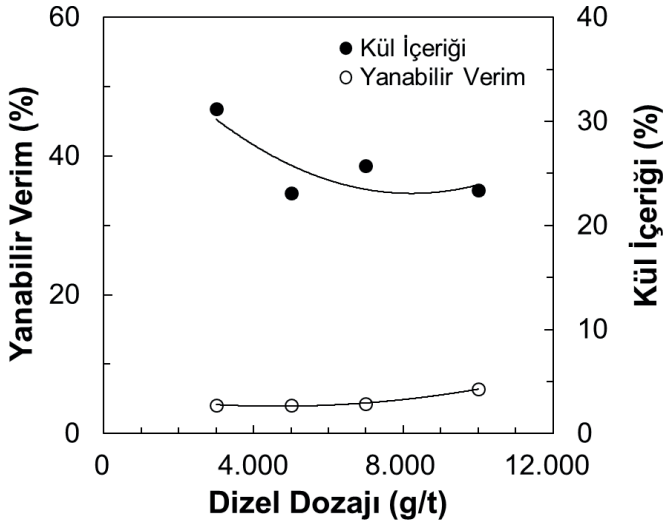
Isıl ön işlemsiz flotasyon deneylerinin sonuçları kullanılan dizel dozajına bağlı olarak Şekil 2'de, konvansiyonel ve mikrodalga ön işlemlili flotasyon deneylerinin sonuçları ise ısıl ön işlem süresine bağlı olarak sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 2'de yanabilir verimin dizel dozajı ile %4,11'den %6,42'ye çıktığı ancak hala çok düşük olduğu görülmektedir. Kül içeriği ise %31,26'dan %23,38'e düşmektedir. Isıl ön işlemsiz deneylerden elde edilen sonuçlar kömür artığının yüzebilirliğinin oldukça zayıf olduğunu göstermektedir. Bu sebeple ısıl ön işlemlili deneyler, denenen en yüksek dizel dozajı olan 10.000 g/t'da gerçekleştirilmiştir.

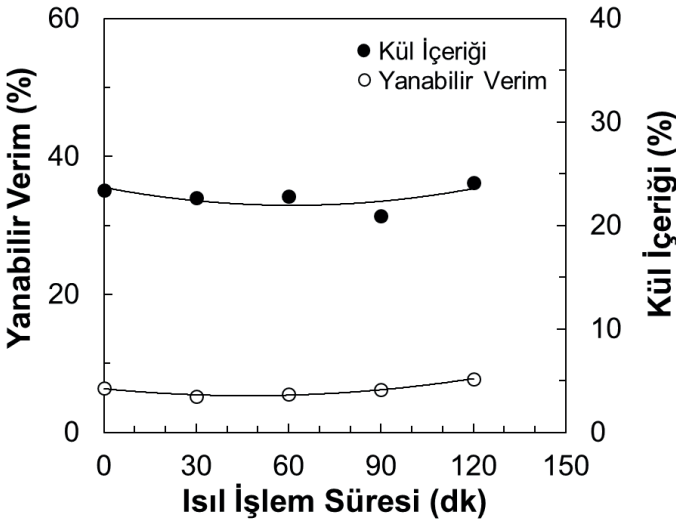
Şekil 3'te konvansiyonel ısıl ön işlemlili flotasyon deneylerinde ısıl ön işlem süresine bağlı olarak yanabilir verimin %6-7 kül içeriğinin ise %23-24 arasında değiştiği yani ısıl ön işleminin de bu numune için flotasyon üzerinde büyük bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Şekil 4'te verilen mikrodalga ön işlemlili flotasyon sonuçları incelendiğinde yanabilir verimin mikro dalga ön işlem süresi ile arttığı kül içeriğinin ise hafifçe düştüğü görülmektedir.

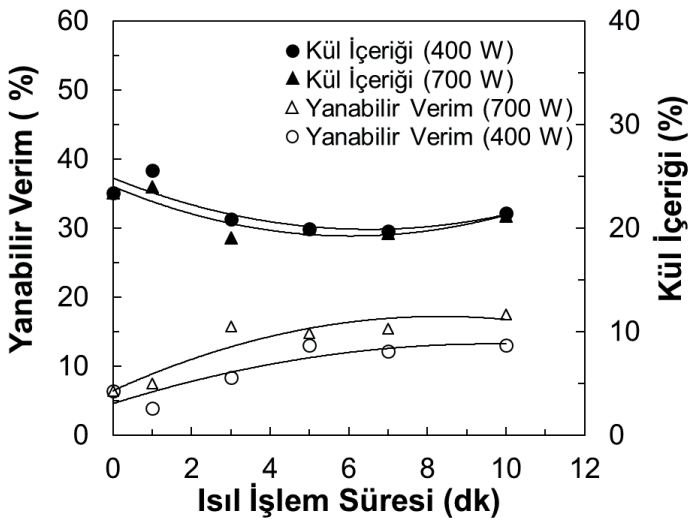
Şekil 5'te verilen flotasyon sonuçlarından görüldüğü üzere ısıl ön işlemsiz flotasyonda 10.000 g/t dizel dozajında %6,42 olan yanabilir verim, 120 dk konvansiyonel ısıl ön işlem ile %7,76'ya çıkmıştır. Bunun sonrasında 400 W ve 700 W'da 10 dk mikrodalga ısıtmada yanabilir verim sırasıyla, %13,07 ve %17,46'ya ulaştığı görülmektedir. Kül içeriği ise konvansiyonel ısıtmada hafifçe artarak %23,38'den %24,14'e çıkmakta, mikrodalga ısıtmada ise küçük bir düşüşle yaklaşık %21'e düşmektedir.



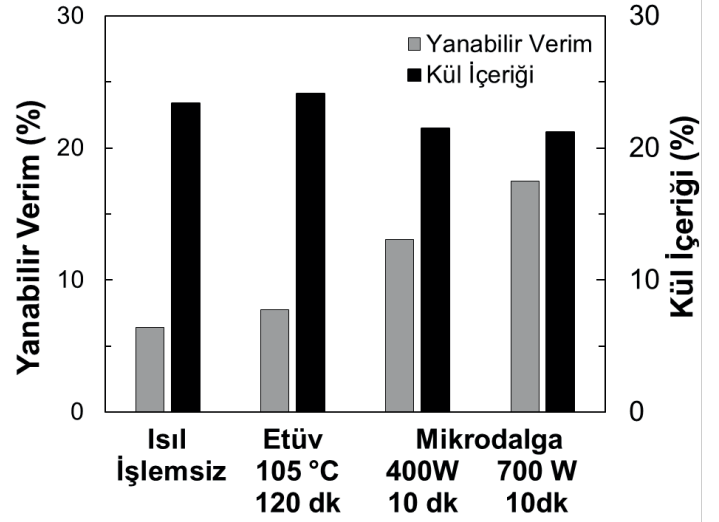
Şekil 2. Dizel dozajına bağlı ısıl ön işlemsiz flotasyon sonuçları.



Şekil 3. Isıl ön işlem süresine bağlı konvansiyonel ısıtımli flotasyon sonuçları.



Şekil 4. Isıl ön işlem süresine bağlı mikrodalga ısıtımli flotasyon sonuçları.



Şekil 5. En yüksek konvansiyonel ve mikrodalga ön işlem sürelerinde elde edilen flotasyon sonuçları.

#### 4 SONUÇLAR

Kömürün hidrofobluğunun ısıl ön işlemler ile artırılabilirliği ve bunun da flotasyon verimini artırdığı literatürden bilinmektedir.

Bu çalışmada linyit kömür artığı numunesinin, konvansiyonel ısıl işlem ve mikro dalga ısıtmaya maruz bırakılarak flotasyon veriminin artırılması araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kömür artığının flotasyonla kazanımında konvansiyonel ısıtma ön işleminin flotasyon veriminde ciddi bir fark oluşturmadığı, ancak mikrodalga ön işlemin yanabilir verimi artırdığı, kül içeriğini ise büyük oranda etkilemediği görülmüştür. Mikrodalga ısıtma malzemeyi içten dışa doğru ısıtması, ani olarak başlatılıp, durdurulabilmesi ile zaman tasarrufu sağlaması, seçimli ısıtma yapılabilmesi, ısınma prosesinin hızlı olması gibi özellikleri sayesinde konvansiyonel ısıtmaya karşı iyi bir alternatif olabileceği ortaya konmuştur.

#### KAYNAKLAR

- Al-Harashseh, M. ve Kingman, S.W., 2004, Microwave-assisted leaching—a review, *Hydrometallurgy*, 73, 3-4, s. 189-203.
- Batchelor, A.R., Jones, D.A., Plint, S. ve Kingman, S.W., 2016, Increasing the grind size for effective liberation and flotation of a porphyry copper ore by microwave treatment, *Minerals Engineering*, 94, s. 61-75.
- Binner, E., Lester, E., Kingman, S., Dodds, C., Robinson, J., Wu, T., Wardle, P. ve Mathews, J.P., 2016, A review of microwave coal processing, *Journal of*

- Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 48, 1, s. 35-60.
- Çınar, M., 2009, Floatability and desulfurization of a low-rank (turkish) coal by low-temperature heat treatment, *Fuel Processing Technology*, 90, 10, s. 1300-1304.
- Eskibalci, M.F., 2007, Cevher hazırlama ve zenginleştirmede mikrodalga enerjisinin kullanılabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 174 s.
- Eskibalci, M.F. ve Özkan, Ş.G., 2012, An investigation of effect of microwave energy on electrostatic separation of colemanite and ulexite, *Minerals Engineering*, 31, s. 90-97.
- Fan, X., Kelly, R.M. ve Rowson, N.A., 2013, Effect of microwave radiation on ilmenite flotation, *Canadian Metallurgical Quarterly*, 39, 3, s. 247-254.
- Güngören, C., 2009, Ultrasonik ve mikrodalga enerjilerinin kolemanit flotasyonunda ön İşlem olarak kullanılması olanaklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, 112 s.
- Güngören, C., Özkan, Ş.G. ve Hacıfazlıoğlu, H., 2016, Mikrodalga kurutmanın linyit kömürünün öğütülebilirliğine etkisi, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 55, 4, s. 15-22.
- Hendaa, R., Hermasa, A., Gedyeb, R. ve Islamc, M.R., 2016, Microwave enhanced recovery of nickel-copper ore: Communitation and floatability aspects, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 40, 1, s. 7-16.
- İrannajad, M., Mehdilo, A. ve Salmani Nuri, O., 2014, Influence of microwave irradiation on ilmenite flotation behavior in the presence of different gangue minerals, *Separation and Purification Technology*, 132, s. 401-412.
- Kingman, S.W. ve Rowson, N.A., 1998, Microwave treatment of minerals-a review, *Minerals Engineering*, 11, 11, s. 1081-1087.
- Önal, G., Çelik, M.S. ve Honaker, R.Q., 1994, *Coal preparation*, *Coal*, 17, 223-237.
- Özbayoğlu, G., Depci, T. ve Ataman, N., 2009, Effect of microwave radiation on coal flotation, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31, 6, s. 492-499.
- Özkan, Ş.G., Eskibalci, M.F. ve Güngören, C., 2009, Mikrodalga enerjisinin kolemanit ve uleksitin sudaki çözünürlüğüne etkisinin araştırılması, *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 22, 1, s. 85-93.
- Sivrikaya, O., 2014, Cleaning study of a low-rank lignite with dms, reichert spiral and flotation, *Fuel*, 119, s. 252-258.
- Toraman, O.Y., 2010, The effect of high power microwave energy on the grindability of turkish cayırhan lignite, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32, 19, s. 1794-1800.
- Toraman, Ö.Y. ve Depçi, T., 2007, Kömürde mikrodalga ile ön İşlem uygulamaları, *Madencilik*, 46, 3, s. 43-53.
- Tosun, Y.İ., 2015, Microwave activated crushing and grinding of turkish coals and shale for cleaning and desulfurization, *XVI Balkan Mineral Processing Congress*, s. 622-629, Belgrad.
- Tozsın, G., Acar, C. ve Sivrikaya, O., 2016, Evaluation of a turkish lignite coal cleaning by conventional and enhanced gravity separation techniques, *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, s. 1-32.
- Uslu, T. ve Atalay, Ü., 2004, Microwave heating of coal for enhanced magnetic removal of pyrite, *Fuel Processing Technology*, 85, 1, s. 21-29.
- Vorster, W., 2001, The effect of microwave radiation on mineral processing, Doktora Tezi, The University of Birmingham, Birmingham, 256 s.
- Xia, W., Yang, J. ve Liang, C., 2013, Effect of microwave pretreatment on oxidized coal flotation, *Powder Technology*, 233, s. 186-189.
- Xia, W.C., Yang, J., Liang, C. ve Zhu, B., 2014a, The effects of conditioning time on the flotation of oxidized coal, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 36, 1, s. 31-37.
- Xia, W.C., Yang, J.G. ve Zhu, B., 2014b, The improvement of grindability and floatability of oxidized coal by microwave pre-treatment, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 36, 1, s. 23-30.

# Şlam Kömürün Flotasyon ile Kazanımında Sıcaklığın Etkisi

## *The Effect of Temperature in Recovery with Flotation of Coal Slime*

Y. Baktarhan, A. Baktarhan, H. Hacıfazlıoğlu

*İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

**ÖZET** Flotasyonda kömürün yüzebilirliğini arttırmak ve daha güçlü kabarcık-tanecik bağları oluşturmak için genellikle gazyağı, fuel oil, motorin gibi hidrokarbon kökenli polar olmayan yağlar kullanılmaktadır. Bu yağlar kömür yüzeyini bir film şeklinde kaplamakta ve hava kabarcığı ile tanecik arasındaki adhezyon kuvvetini arttırarak daha güçlü yapışmaların oluşmasını sağlamaktadır. Bu yolla hem flotasyon hızı, hem de yanabilir kısım kazanımı artmaktadır. Bu çalışmada, %33,75 küllü Zonguldak atık havuzu şlam kömürünün flotasyon yöntemi ile temiz kömür üretiminde toplayıcı olarak bitkisel atık yağ (BAY) kullanılmış ve pülp sıcaklığının flotasyon verimine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla pülp sıcaklıkları  $5\pm 3$ ,  $25\pm 3$ ,  $50\pm 3$  ve  $75\pm 3$  °C olacak şekilde 4 farklı pülp sıcaklığı değerinde flotasyon çalışması yapılmıştır. Deneyler sonucunda en yüksek yanabilir verim değerleri  $5\pm 3$  ve  $25\pm 3$  °C' lik pülp sıcaklıklarında elde edilmiştir. Pülpün sıcak ( $75 \pm 3$  °C) olması durumunda yanabilir verim önemli ölçüde azalmıştır. En yüksek yanabilir verim değerleri pülp sıcaklığının  $25\pm 3$  °C olduğu durumda elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta yanabilir verim %87,10'a kadar yükselmiştir. En düşük küllü kömür ise  $75\pm 3$  °C' lik pülp sıcaklığında elde edilmiş olup ürün külü %10,50' dir. Ancak  $75\pm 3$  °C' lik pülp sıcaklığında yanabilir verim değeri diğer sıcaklıklara göre daha düşük olup %23,78 bulunmuştur.

**ABSTRACT** In flotation, kerosene, fuel oil, diesel oil such hydrocarbon origin non-polar oils generally uses to increase the coal floatability and create more stronger bubble-particle bonds. These oils form a film enveloping the coal surface and increasing the adhesion strength between the air bubbles with particles provides more stronger adhesion. In this way both the flotation velocity and combustible part increases. In this study, ash concent of 33,75 % Zonguldak waste poor coal slime with flotation method in the production clean coal vegetable waste oil (BAY) has used as collector and the effect of pulp temperature on flotation yield was investigated. For this purpose, flotation studies were carried out at 4 different pulp temperature values such as  $5 \pm 3$ ,  $25 \pm 3$ ,  $50 \pm 3$  and  $75 \pm 3$  °C. As a result of experiments, the highest combustible yield values were obtained at  $5 \pm 3$  and  $25 \pm 3$  °C pulp temperatures. If the water is hot ( $75 \pm 3$  °C), the combustible yield is significantly reduced. The highest combustible yield values were obtained when the pulp temperature was  $25 \pm 3$  °C. At this temperature, combustible yield increased to 87,10%. The lowest ash coal was obtained at the pulp temperature of  $75 \pm 3$  °C and the product ash was 10,50%. However, the combustible yield value was found to be 23.78% lower than the other temperatures at the pulp temperature of  $75 \pm 3$  °C.



## 1 GİRİŞ

Flotasyon, sulu bir ortam içerisinde bir minerali yüzdürme yoluyla diğer minerallerden ayırma yöntemidir. Örneğin kömür flotasyonunda kömür çeşitli yağlarla yüzdürülürken silikat ve kil gibi gang mineralleri bastırılır ve bu yolla kömürün kül yapıcı mineralleri uzaklaştırılır. Flotasyon yöntemi ile ortalama kül içeriği %45-50 olan bitümlü kömürlerden %15'in altında kül içeren temiz kömürlerin elde edilebileceği belirtilmektedir (Hacifazlıoğlu, 2006). Kömürün yüzebilmeye özelliğini arttırmak ve daha güçlü kabarcık-tanecik etkileşimini oluşturmak için genellikle gazyağı, fuel oil, motorin (mazot) gibi hidrokarbon kökenli polar olmayan yağlar kullanılmaktadır. Bu yağlar kömür yüzeyini bir film şeklinde kaplayarak hava kabarcığı ile tanecik arasındaki adhezyon kuvveti artırır ve böylece daha güçlü temasların oluşması sağlanmaktadır. Bu yolla hem flotasyon hızı hem de yanabilir kısım kazanımı artmaktadır. Yağların kullanımı taş kömürü flotasyonunda genellikle 0.5-2 kg/t mertebelerinde iken, kömürleşme derecesi düşük olan linyit flotasyonunda 6-8 kg/t seviyelerine kadar çıkabilmektedir. (Hacifazlıoğlu, 2011, Cebeci, 2002, Jia vd., 2002; Sis vd., 2003, Ceylan ve Küçük, 2004; Sis vd., 2004; Sönmez ve Cebeci, 2006).

Kömür flotasyonunun performansını temas açısı ve tanecik ile nonpolar (polar olmayan) yağ arasındaki adsorpsiyon verimi önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir. Ayrıca temas açısının büyümesi flotasyon başarısını arttırmaktadır. Bazı kömürlerin temas açıları, sıcaklığın artmasıyla birlikte 0°C' den 55°C' ye kadar yükselmiştir (Gayle, and Smelley, 1960). Kömür flotasyonunda kollektör olarak kullanılan yağların kömür yüzeyine adsorplanması ne kadar kolay olursa, kömürün yüzdürülmesi de o derece kolay olur. Bu nedenle yüksek vizkoziteye sahip fuel oil'in kömür yüzeyine adsorpsiyonu zor olduğu için flotasyon başarısı da gazyağına göre daha düşüktür (Cebeci, 2002).

Bu bakımdan flotasyon işleminde sıcaklığın artırılması yağ adsorpsiyonunu arttırdığı gibi temas açısının büyümesini sağlamaktadır. Kömür sahip olduğu doğal

hidrofobitesi nedeniyle sıcaklıktan çok fazla etkilenmeyeceği düşünülmektedir. Ancak, okside olmuş veya yüzmesi zor olan kömürlerde sıcaklığın etkisi gözardı edilmeyecek kadar önemlidir. Bu bağlamda yüzmeye özelliği düşük olan bir İngiliz kömürü üzerinde farklı pulp sıcaklıklarının flotasyon verimine etkisi incelenmiştir ve 5 °C 'lik pulp sıcaklığında yapılmış olan flotasyonda %20 konsantre verimi sağlanmışken, 30 °C 'lik bir sıcaklıkta %80'e varan bir konsantre verimi elde edilmiştir (Bailey and Whelan(1957). Glembotskii ve Klassen (1972) sıcaklığın artması ile flotasyonda kullanılan nonpolar yağların vizkozitesi düştüğünü ve kömürle nonpolar yağ arasında daha güçlü adsorpsiyonların oluştuğunu tespit etmişlerdir. Ancak Bhattacharya ve Pascoe (2005) sıcaklığın çok fazla arttırıldığı durumda (>50 °C), flotasyon koşullarının tekrar bozulmakta olduğunu ve kömürün flotasyon performansının azaldığını ifade etmişlerdir. Ayrıca Klassen (1963) yüksek sıcaklıklarda kömürün okside olduğunu ve bu durumdan dolayı flotasyon veriminde bir düşüş olduğunu düşünmüştür. Bu nedenle kömür flotasyonu için en uygun sıcaklık değerinin 20 ile 40 °C arasında olduğu belirtilmektedir. 50 °C yüksek sıcaklıklarda, su moleküllerinin hareketinin arttığı, köpük stabilitesi bozulduğu ve kabarcık-tanecik kopmalarının arttığı gözlenmiştir. Diğer taraftan nonpolar yağın vizkozitesi ciddi oranda azaldığı için kömür yüzeyinden daha kolay kopmalar gerçekleşirken, 20 °C altındaki sıcaklıklarda ise; temas açısı azaldığı ve suyun vizkozitesi arttığı için ince kabarcık oluşumunun zorlaştığı bilinmektedir. Mezkur nedenlerden ötürü flotasyonda sıcaklığın etkisi ihmal edilemeyecek kadar önemlidir (Hacifazlıoğlu, ed, 2016, Bhattacharya, ed, 2005. Bailey, ed, 1957., Gayle, ed, 1960., Glembotskii, ed, 1972., Klassen, 1963).

## 2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1 Kömür Örneğine Ait Özellikler

Deneysel çalışmalarda kullanılan toz kömür numunesi, Zonguldak Çatalağzı beldesinde

. Susuzlandırma eleği üstünden alınan toz kömür numunesinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1' de verilmiştir.

## Çizelge 1. Taşkömürü numunesinin kimyasal analiz sonuçları

Analiz	Kuru Kömürde(%)
Toplam kül (%)	33,75
Uçucu madde(%)	29,20
Sabit karbon(%)	37,50
Toplam kükürt(%)	0,70

Parametre	Değer
Toplayıcı (BAY)	2000 gr/t
Köpürtücü	100 g/t
Devir	1100rpm
Katı Oranı	%10
Pülp Sıcaklığı	5, 25, 50 ve 75 °C

### 2.2 Deneylerde İzlenen Yöntem

Laboratuvara getirilen numune homojen olarak karıştırıldıktan sonra, konileme-dörtleme yöntemi ile azaltılmıştır. Daha sonra 95 °C'deki etüvde 4 saat bekletilerek nemi tamamen giderilmiştir. Flotasyon deneyleri Denver marka bir flotasyon makinesinde gerçekleştirilmiştir. Farklı sıcaklıklarda yüzdürülen kömür numuneleri ayrı ayrı filtre kağıtlarında filtrasyon işlemine tabi tutularak suyu giderilmiştir ve daha sonra 95 °C'deki etüvde nemi gidinceye kadar kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından her bir kömür numunesi tartımları alınarak verimleri ve kül fırınında kül analizleri yapılmıştır. Pülp sıcaklığının ölçülmesinde kızılötesi (infrared) termometre kullanılmıştır. Pülp sıcaklıkları 5, 25, 50 ve 75 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Ancak flotasyon süresince sıcaklıklarda  $\pm 3$  °C' lik bir dalgalanma oluşmuştur.

Toz kömürün flotasyonunda herhangi kimyasal ilave edilmeksizin toplayıcı olarak bitkisel atık yağ (BAY), köpürtücü olarak okalıptüs yağı kullanılmıştır. Flotasyon makinesinin karıştırma hızı 1100 dev/dk'ya ayarlanmış ve sırasıyla 30, 60 ve 240 sn köpük alma sürelerinde flotasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler 5, 25, 50 ve 75 °C'lik pülp sıcaklıkları için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Deneylerde kullanılan bitkisel atık yağ, patates kızartma işlemlerinde 3 kez kullanılmış olan ayçiçek yağıdır. Genel flotasyon koşulları Çizelge 2'de özetlenmiştir.

Bitkisel atık yağın su içerisinde dağılması zor olduğu için, bu yağ saf su ile emülsifiye edilerek kullanılmıştır. Bu işlem için 3000 dev/dk'lık bir hızla dönen karıştırıcı (stirrer) kullanılmıştır. %1 atık yağ içeren emülsifiye kollektör ile deneyler yapılmıştır.

### 3 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

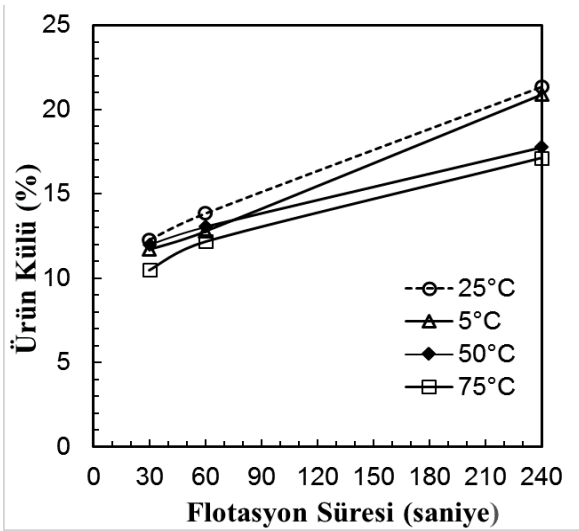
#### 3.1 Pülp Sıcaklığının 5 $\pm$ 3, 25 $\pm$ 3, 50 $\pm$ 3 ve 75 $\pm$ 3 °C Olduğu Durumlarda Flotasyon

Denver flotasyon hücresinde, 5 $\pm$ 3, 25 $\pm$ 3, 50 $\pm$ 3 ve 75 $\pm$ 3 °C'lik pul sıcaklıklarında 2000 g/t BAY, 100 g/t Okalıptüs yağı kullanılarak, 1100 rpm'lik bir karıştırma hızında ve %15 katı oranı ile ayrı ayrı yapılan deneylerin sonuçları farklı köpük alma süreleri (30, 60 ve 240 sn) için aşağıda yorumlanmıştır.

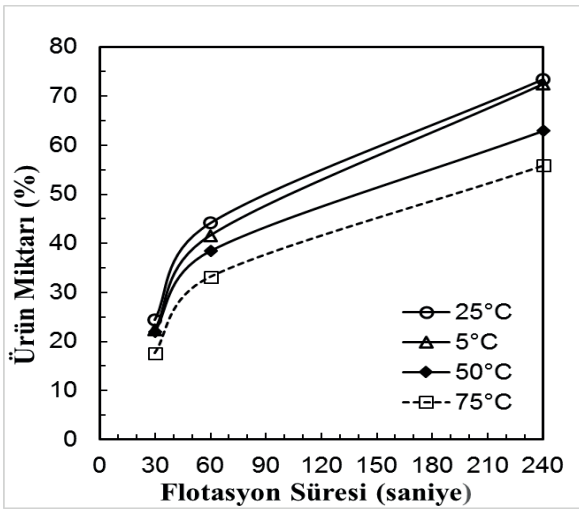
##### 3.1.1 Farklı Pülp Sıcaklıklarında Yapılan Flotasyon Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Farklı pülp sıcaklıklarda (5 $\pm$ 3, 25 $\pm$ 3, 50 $\pm$ 3 ve 75 $\pm$ 3 °C), 2000 g/t BAY, 100 g/t Okalıptüs yağı kullanılarak, 1100 rpm'lik bir karıştırma hızında, %15 katı oranı ile yapılan flotasyon çalışması sonucunda elde edilen ürünlerin kül değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3'de ise sırasıyla ürün miktar (verim) ve yanabilir verim değerlerinin değişimi gösterilmiştir.

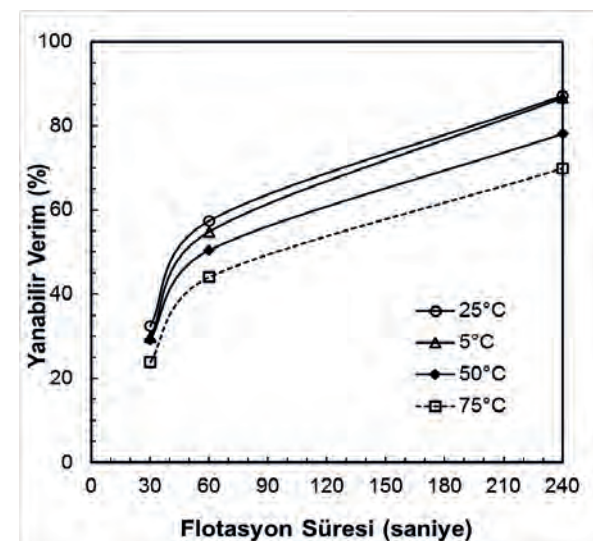
Şekil 4'de çok düşük sıcaklıkta (5 $\pm$ 3 °C) ve çok yüksek sıcaklıkta (75 $\pm$ 3 °C) yapılan flotasyon çalışmalarının görüntüleri verilmiştir. Bu fotoğraflardan da görülebileceği gibi yüksek sıcaklıklarda daha iri boyutlu kabarcıklar oluşmaktadır.



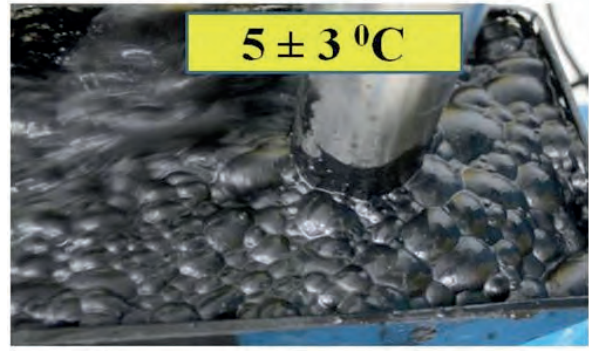
Şekil 1. Flotasyonda sıcaklığın ürün külü değerlerine etkisi



Şekil 2. Flotasyonda sıcaklığın ürün miktarı (verim) değerlerine etkisi



Şekil 3. Flotasyonda sıcaklığın yanabilir verim değerlerine etkisi



Şekil 4. Düşük ve yüksek sıcaklıkta flotasyon anı görüntüleri

#### 4 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, %33,75 küllü Zonguldak atık havuzu şlam kömüründen flotasyon yöntemi ile temiz kömür üretiminde toplayıcı olarak bitkisel atık yağ (BAY) kullanılmış ve pülp sıcaklığının flotasyon verimine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla pülp sıcaklıkları  $5\pm 3$ ,  $25\pm 3$ ,  $50\pm 3$  ve  $75\pm 3$  °C olacak şekilde 4 farklı pülp sıcaklığı değerinde flotasyon çalışması yapılmıştır.

Deneyler sonucunda en yüksek yanabilir verim değerleri  $5\pm 3$  ve  $25\pm 3$  °C 'lik pülp sıcaklıklarında elde edilmiştir. Pülpün sıcak ( $75\pm 3$  °C) olması durumunda yanabilir verim önemli ölçüde azalmıştır. En yüksek yanabilir verim değerleri pülp sıcaklığının  $25\pm 3$  °C olduğu durumda elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta yanabilir verim %87,10'a kadar yükselmiştir. En düşük küllü kömür ise  $75\pm 3$  °C 'lik pülp sıcaklığında elde edilmiş olup ürün külü %10,50'dir. Ancak  $75\pm 3$  °C 'lik pülp sıcaklığında yanabilir verim değeri diğer sıcaklıklara göre daha düşük olup %23,78 bulunmuştur. Bu durumun muhtemel nedeni sıcak suyun buharının kabarcıkları büyütmesi, kolay patlamasına neden olması ve nihayetinde hidrofob ve yarı hidrofob (ara ürün) malzemenin köpüğe taşınmadan pülp içerisine geri düşmesidir. Yüksek sıcaklıkta seçicilik artmış ancak verim (miktar) düşük bulunmuştur. Diğer pülp sıcaklıklarında ( $5\pm 3$  ve  $25\pm 3$  °C 'de) kabarcıklar daha

kompakt yapıda iken,  $75\pm 3$  °C 'de daha gevşek kabarcıklar oluşmuştur. Bu durum yüksek sıcaklıkta köpük stabilitesinin düşmesine neden olarak köpüğe taşınan hidrofob malzeme miktarını azaltmıştır.

## TEŞEKKÜRLER

TÜBİTAK'a 215M156 No'lu projeye desteklerinden ötürü teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Bhattacharya, S. and Pascoe, R.D., 2005, Effect of Temperature on Coal Flotation Performance - A Review, *Mineral Processing & Extractive Metall. Rev.*, 26: 3161.
- Bailey, R., and Whelan, P. F., 1957, Influence of pulp temperature on the froth flotation of four british fine coals, *J. Inst. Fuel*, 25, pp. 304\_307.
- Cebeci, Y. 2002. The investigation of the floatability improvement of Yozgat Ayrıdam lignite using various collectors, *Fuel*, 81 281-289.
- Gayle J. B. and Smelley, A. G., 1960. Effects of Temperature Variation on Contact Angles for Coal and Related Substances, U.S. Bureau of Mines, (\*), Pittsburgh, (RI 5585).
- Glembotskii, V. A., Klassen, V. I., and Plaksin, I.N., 1972, *Flotation*, New York, Primary Sources.
- Klassen, V. I., 1963., *Coal Flotation*, Moscow, Gosgortiekhizdat, and Katowice, Russia, Slask (in Russian and Polish).
- Hacıfazlıoğlu, H., ve Gerdan H.G., (2016). Taşkömürü Tozları Flotasyonunda Sıcaklığın Etkisi, *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5 (2016) 1-8
- Hacıfazlıoğlu, H., (2006). Jameson flotasyon hücresi ile Zonguldak kömür şlamının zenginleştirilmesi, *ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak*, s.86.
- Jia, R., Haris, G.H. ve Fuerstenau, D.W., (2002). Chemical reagents for enhanced coal flotation, *Coal Preparation*, 22, 123-149.
- Sis, H., Özbayoğlu, G. ve Sarıkaya, M. (2004). Comparison of non-ionic and ionic collectors in the flotation of coal fines, *MineralsEngineering*, 16, 399-401.
- Sönmez, İ. ve Cebeci, Y., (2006). Performance of classic oils and lubricating oils in froth flotation of Ukraine coal, *Fuel*, 85, 1866-1870.

# Afşin-Elbistan Linyitlerinin Öğütülebilirlik Özellikleri ile Kimyasal İçerikleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

## *Examination of Relationship between Grindability Properties and Chemical Contents of Afsin-Elbistan Lignites*

M. Altın, A. Ürünveren, S. Ural

*Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana*

**ÖZET** Bu çalışma Afşin-Elbistan linyitlerinin inorganik içeriği ile öğütülebilirlik özelliği arasındaki ilişkinin belirlenmesini kapsamaktadır. Bu amaçla, ilk aşamada Afşin-Elbistan linyit havzasının farklı noktalarında yapılan 21 adet karotlu sondaj kuyusundan temin edilen 24 adet numunenin öğütülebilirlik değerleri Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi (HGI) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. İkinci aşamada ise her bir linyit numunesinden kül elde edilmiş ve X-Işını Floresans (XRF) cihazı ile kimyasal içeriği belirlenen külün kimyasal içeriğinin linyitin öğütülebilirliği ile olan ilişkisi incelenmiştir. CaO içeriği yüksek olan linyitlerde HGI değerleri 79 – 114 aralığında iken, SiO<sub>2</sub> içeriği yüksek olan linyitlerde HGI değeri 40 – 70 aralığında değişmektedir. Ayrıca, SiO<sub>2</sub> bakımından yüksek içeriğe sahip kül numunelerinin pH değeri düşük iken, CaO içeriği yüksek kül numunelerinin pH değeri yüksek olmuştur. Elde edilen tüm sonuçlar birbiriyle kıyaslandığında ise; pH değerinin Afşin-Elbistan linyitlerinin öğütülebilirliğinin tahmininde kullanılabilir bir parametre olduğu anlaşılmıştır.

**ABSTRACT** This study covers the determination of the relationship between the inorganic content and moisture content of Afsin-Elbistan lignites and grindability property of those lignites. At first, the grindability property of forty two samples were collected from 21 drilling holes in Afsin-Elbistan lignites were determined. Second, ashes were obtained from those samples and X-ray fluorescence (XRF) was used to determine the chemical composition of ashes samples. The HGI value of the samples containing high CaO were range in 79 – 114, whereas that of samples containing high SiO<sub>2</sub> varied between 40 – 70. It was understood from these results that the pH was a good indicator to predict the grindability property of Afsin-Elbistan lignite.

## 1 GİRİŞ

Kömürün öğütme işlemiyle istenilen boyutta pulverize hale getirilebilmesi için gerekli olan enerji, kömürün dayanımına, kırılabilirliğine, petrografik özelliğine, nem miktarına, uçucu madde miktarına ve kül yapıcı olarak adlandırılan minerallerin içeriğine bağlıdır (Zuo ve ark., 2012; Dutkiewicz ve ark., 1986; Tiryaki, 2005; Radi ve ark., 2011).

Kömürün öğütülebilirliği ise Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi (HGI) cihazı yardımıyla ölçülmekte ve kömürün HGI

değerine göre kömürün yakılma prensibine dayalı olarak çalışan termik santrallerdeki pülverizatörün kapasitesi belirlenebilmektedir (Sengupta, 2002).

Elde edilen HGI değerine göre kömürün öğütülebilirliği aşağıda verilen şekilde sınıflandırılabilir (Agus ve Waters, 1971).

- HGI değeri <40 ise; aşırı sert,
- HGI değeri 40 ile 60 arasında ise; çok sert,
- HGI değeri 60 ile 80 arasında ise; sert,
- HGI değeri 80 ile 100 arasında ise; yumuşak,

• HGI değeri 100 ile 120 arasında ise; çok yumuşak

Bu çalışmaya konu olan Afşin-Elbistan linyitlerinin öğütülebilirliği ile ilgili çok fazla çalışma gerçekleştirilmemiştir. Altner ve ark., (2012) yaptıkları çalışmada yalnızca nem içeriğinin Afşin-Elbistan linyitinin öğütülebilirliğine olan etkilerini ortaya koyarken, diğer parametrelerin kömürün öğütülebilirliğine olan etkileri araştırılmamıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Afşin-Elbistan linyit havzasının bir bölgesinden kömür örneklerinin getirildiği ve bu numuneler kullanılarak nem içeriğinin öğütülebilirliğe olan etkisinin belirlendiği anlaşılmıştır.

Ancak, Afşin-Elbistan linyit havzasında üretilen kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri bölgeden bölgeye değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, Ural ve Akyıldız (2004) Afşin-Elbistan linyit havzasının değişik bölgelerinden alınan 29 adet kömür numunesinin yalnızca içerdiği suda ve asitte çözünebilir mineral madde miktarının öğütülebilirliğe olan etkilerini araştırmıştır

Bu çalışma ile, Afşin-Elbistan linyit havzasının değişik bölgelerinden alınan linyit örneklerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin öğütülebilirliğe olan etkileri ayrıntılı bir şekilde araştırılmış ve böylelikle Afşin-Elbistan linyitlerinin özelliklerinin öğütülebilirliğe olan etkileri tam anlamıyla ortaya konmuştur.

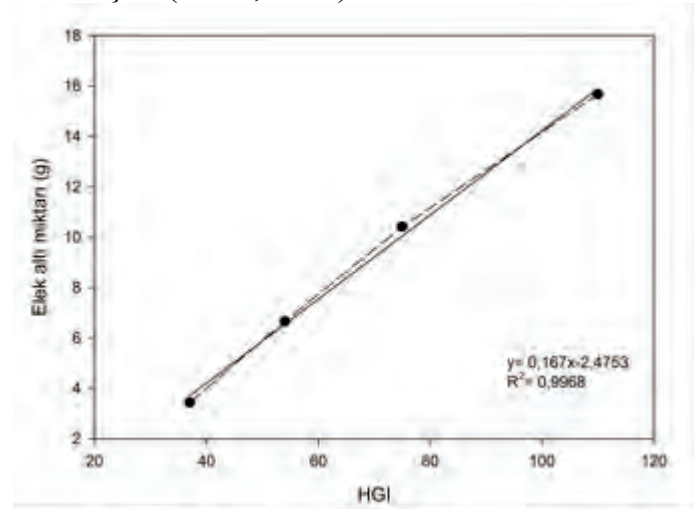
## 2 MATERYAL VE METOD

İlk aşamada Afşin-Elbistan Linyit havzasının farklı bölgelerinden, ana kütleyi temsil edecek şekilde karotlu sondaj loglarından alınan 24 adet numunenin mineralojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir.

İkinci aşamada ise; Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks (HGI) cihazı yardımıyla numunelerin HGI değerleri belirlenmiştir (TS 3536; ASTM D-409-93).

HGI kalibrasyon grafiği oluşturmak için önceden HGI değeri bilinen numuneler HGI cihazında standartta uygun olarak öğütülmüş ve işlem sonrası elde edilen numuneler 0,075 mm'lik elekten 10 dakika süreyle eelenmiş ve 0,075 mm'lik elekten eleme sonrası elek altına geçen linyit numunesinin ağırlığı değerleri kullanılarak Şekil 1'de verilen

kalibrasyon grafiği çizilmiştir. Bu grafiğin eğiminden ise aşağıda verilen eşitlik (1) elde edilmiştir ( $R^2$ : 0,9968).



Şekil 1. HGI kalibrasyon grafiği

$$HGI = \frac{x + 2,473}{0,167} \quad (1)$$

Burada x değeri 75 µm'lik eleğin altına geçen numune miktarıdır (g).

Üçüncü aşamada, linyit numunelerinden elde edilen külün pH değeri ile HGI değerleri arasındaki ilişki karşılaştırılmıştır. Bu amaçla; 1 g kül numunesi 100 mL saf su içerisine bırakılmış ve 24 saatlik süre sonunda suyun pH değeri ölçülmüştür. Son aşamada; bu çalışma kapsamında elde edilen deneysel sonuçlar geriye doğru eleme (backward regression) yöntemiyle değerlendirilmiş ve bir model oluşturulmuştur.

## 3 ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada elde edilen tüm sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir. Görüldüğü gibi; Afşin-Elbistan Linyit Havzasının farklı bölgelerinden alınan 24 adet numunenin nem içeriği %37,40 ile %62 oranında değişmektedir. Bu numuneler %13,10 ile %32,50 oranında kül içermektedir. Her bir linyit numunesinin içerdiği CaO, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SO<sub>3</sub> miktarları %11 ile %32 arasında değişmektedir. Isıl değerler ise 921 – 5861 kJ/kg arasında değişmektedir. HGI değerleri ise 40,69 ile 123,70 arasında değişmekte ve bu değişimin linyit numunelerinin içerdiği inorganik madde miktarlarındaki farklılıklardan olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 1. Çalışmalarda elde edilen deneysel sonuçlar

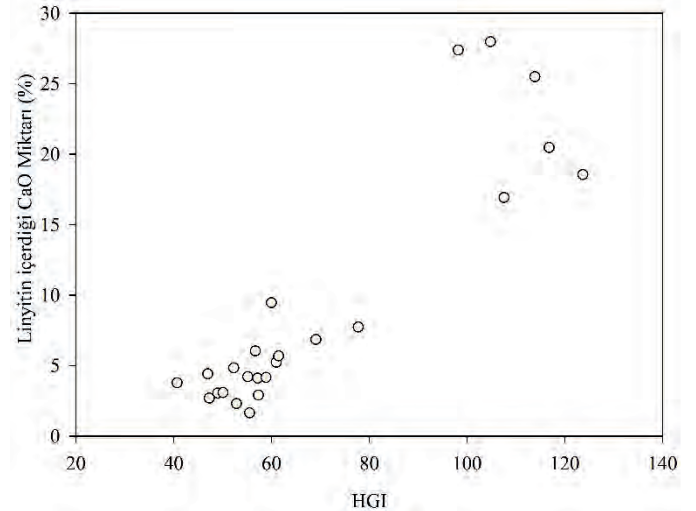
Numune kodu	Nem (%)	Kül (%)	Alt ısı değer (kJ/kg)	Külün kimyasal içeriği (%)				Kömürün kimyasal içeriği (%)				HGI	pH
				SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>		
S1	54,1	18,3	5053	19,7	14,22	22,7	28	3,61	2,6	4,15	5,12	58,88	9,46
S2	48,8	23,8	2675	5,62	1,87	77,96	10,2	1,34	0,45	18,55	2,43	123,7	12,22
S3	42,7	27,8	1407	1,99	1,12	91,7	2,92	0,55	0,31	25,49	0,81	113,9	12,25
S4	57,7	13,5	5053	15,4	5,56	42,09	25,3	2,08	0,75	5,68	3,42	61,44	11,98
S5	39,3	31	1143	3,39	1,35	88,35	4,34	1,05	0,42	27,39	1,35	98,22	12,33
S6	37,4	32,5	921	4,51	2,45	86,07	4,21	1,47	0,8	27,97	1,37	104,8	12,29
S7	52,8	18,2	5485	27,7	11,2	20,7	22	5,04	2,04	3,77	4	40,69	9,13
S8	52,3	21,3	4869	26,4	14,26	20,7	24,2	5,62	3,04	4,41	5,15	46,96	9,23
S9	53	19,4	5179	28,4	16,56	15,9	21	5,51	3,21	3,08	4,07	50,09	9,47
S10	53	21	4744	20,2	10,55	28,72	24,5	4,24	2,22	6,03	5,15	56,68	11,26
S11	52,2	20,7	5861	26,5	12,45	20,3	21,2	5,49	2,58	4,2	4,39	55,16	9,22
S12	53,8	22,8	3634	28,6	11,71	21,2	20,3	6,52	2,67	4,83	4,63	52,28	9,6
S13	55,6	18,2	4388	35,8	12,62	14,8	19,2	6,52	2,3	2,69	3,49	47,28	8,85
S14	52,1	16,3	5560	25,6	7,42	25,15	18,9	4,17	1,21	4,1	3,08	57,14	10,01
S15	55,1	15,2	4601	15,8	6,66	45,04	21,2	2,4	1,01	6,85	3,22	69,08	12,1
S16	49,7	21,3	3132	5,16	2,07	79,43	9,28	1,1	0,44	16,92	1,98	107,58	12,39
S17	51,9	19,8	4354	22,3	11,26	26,4	22,7	4,42	2,23	5,23	4,49	60,99	10,24
S18	53,5	19,3	4840	44	14,47	8,5	11,14	8,49	2,79	1,64	2,15	55,52	7,73
S19	62	13,1	5233	10,12	23,38	22,1	28,9	1,33	3,06	2,9	3,79	57,33	9,17
S20	49,15	22,5	4915	6,31	13,17	42,02	28,2	1,42	2,96	9,45	6,35	59,97	11,97
S21	47,3	24,7	2659	3,82	2,07	82,86	8,02	0,94	0,51	20,47	1,98	116,8	12,15
S22	56,1	13,6	4848	10,64	6,03	56,86	18	1,45	0,82	7,73	2,45	77,73	12,14
S23	54	19,1	5158	29,3	14,04	15,9	24,4	5,6	2,68	3,04	4,66	49,01	9,35
S24	50,4	24,3	4547	37,2	16,38	9,48	14,7	9,04	3,98	2,3	3,57	52,84	9,33

### 3.1 Afşin-Elbistan Linyitlerinin Kimyasal İçeriği ile HGI Değeri Arasındaki İlişki

Şekil 2 – 5, Afşin-Elbistan Linyit havzının farklı bölgelerinden alınan 24 adet linyit numunesinin kimyasal içeriğinin öğütülebilirlik özelliği ile olan ilişkini göstermektedir.

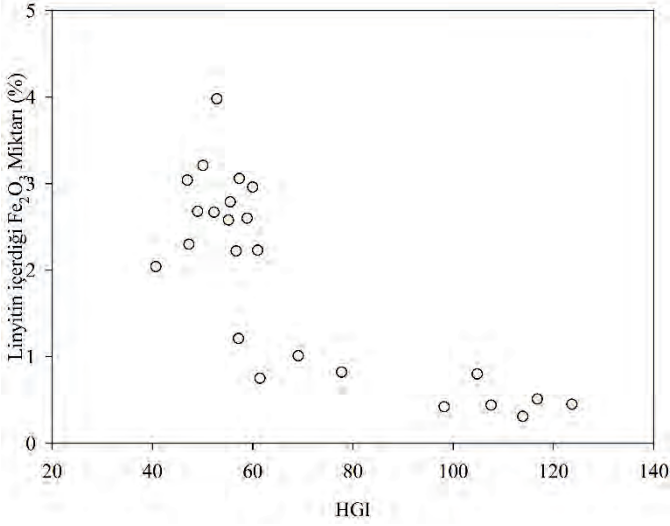
Şekil 2’de görüldüğü gibi, eğer Afşin-Elbistan linyitlerinin içerdiği CaO miktarı az ise; öğütülebilirliği zorlaşmıştır. Linyitin içerdiği CaO miktarındaki artışa paralel olarak öğütülebilirliği de kolaylaşmaktadır.

Öğütülebilirlik değerleri belirlenen 24 adet numune içerisinde öğütülebilirliği en kolay numune kodu S2’dir ve HGI değeri 123,7 olarak belirlenmiştir. Kimyasal içeriğine bakıldığında ise; S2 numunesinin yüksek CaO (%18,55) içeriğine sahiptir. Öğütülebilirliği etkilediği düşünülen diğer elementlerin miktarı ise sırasıyla %1,34 SiO<sub>2</sub>, %0,45 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %2,43 SO<sub>3</sub>’dur.



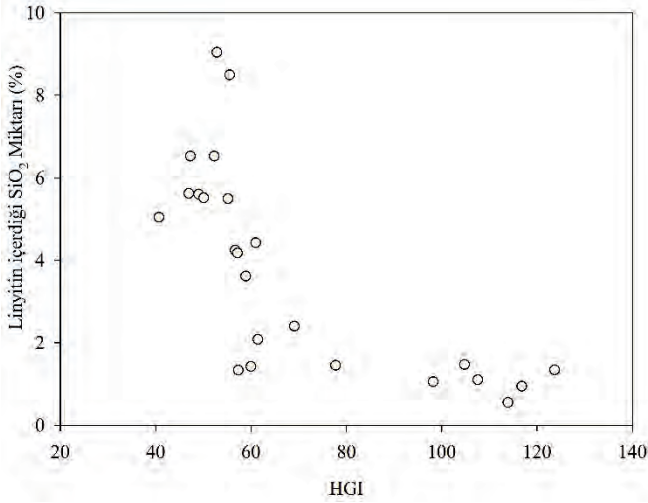
Şekil 2. Linyitin CaO içeriği ile HGI arasındaki ilişki

Şekil 3’de görüldüğü gibi; linyitin içerdiği Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarındaki düşüş, linyitin öğütülebilirliğinin kolaylaştığına işaretler.



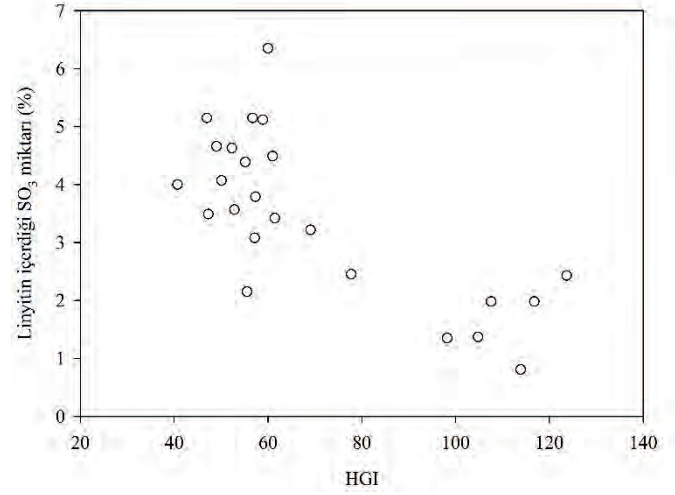
Şekil 3. Linyitin  $Fe_2O_3$  miktarı ile HGI arasındaki ilişki

En düşük HGI değerine sahip linyit numunesinin kodu S7'dir ve içerdiği  $SiO_2$  miktarı %5,04'dür (Şekil 4).  $SiO_2$  oranındaki düşüş; linyitin öğütülebilirliğini kolaylaştırmaktadır.



Şekil 4. Linyitin  $SiO_2$  miktarı ile HGI arasındaki ilişki

$Fe_2O_3$  miktarına göre linyitlerin HGI değerlerindeki değişim (Şekil 5); Şekil 3 ve 4'de görülen değişim trendlerine benzerdir. Bu bakımdan linyitin içerdiği  $Fe_2O_3$  miktarındaki düşüş; HGI değerinin yükseleceğine ve öğütülebilirliğin kolaylaşacağına işaret ederken, bu değerlerin yükselmesine bağlı olarak linyitin öğütülebilirliği de zorlaşmıştır.

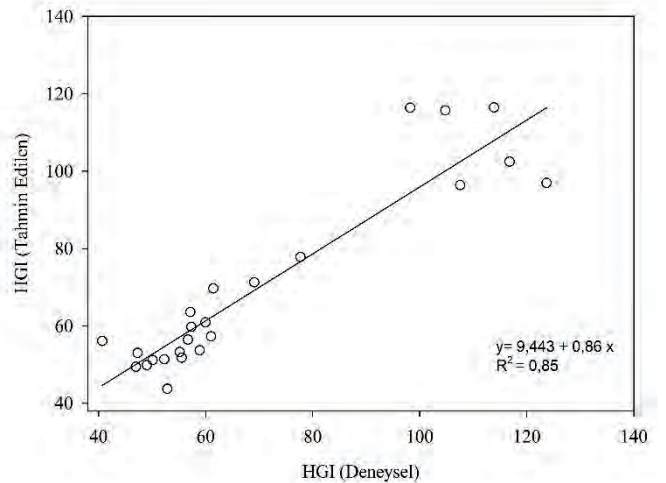


Şekil 5. Linyitin  $SO_3$  miktarı ile HGI arasındaki ilişki

Görüldüğü gibi; linyitin kimyasal içeriğinin öğütülebilirliğe olan etkisi oldukça fazladır. Bu amaçla; elde edilen sonuçlar, geriye dönük eleme yöntemi ile değerlendirilmiş ve deneysel sonuçlar uyumlu çıkmıştır. Regresyon analizlerinde sadece  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ , CaO and  $SO_3$  değerleri dikkate alınırken, nem içeriği, ısı değeri ve kül değerleri dikkate alınmamıştır. Elde edilen model aşağıda verilmiştir. Korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) 0,85'dir.

$$HGI = 78,73 - 1,786*SiO_2 - 2,259*Fe_2O_3 + 1,668*CaO - 3,839SO_3 \quad (2)$$

(2) nolu eşitlik kullanılarak linyit numunelerinin HGI değerleri tahmin edilmiş ve bu değerler ile gerçek HGI değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Belirlenen ve tahmin edilen HGI değerlerinin karşılaştırılması.

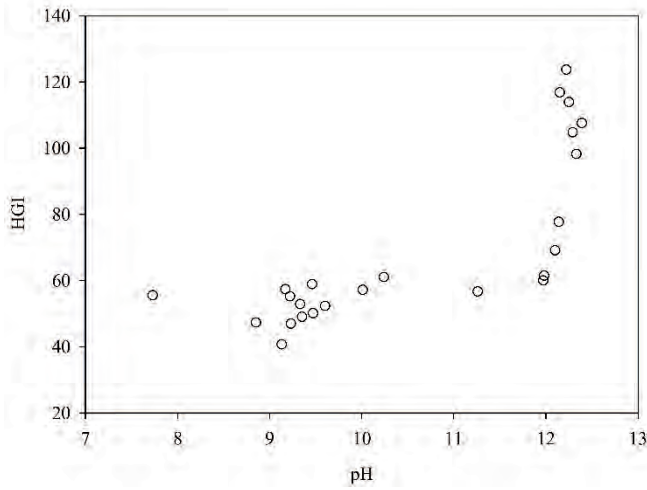


### 3.2 Afşin-Elbistan Linyitlerinden Elde Edilen Külün pH Değeri ile HGI Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi

İlk aşamada, her linyit numunesinden 1 gr 100 mL saf su içine atılmış ve 24 saatlik süre sonunda suyun pH değişimi değerleri tespit edilmiştir. Ancak, ölçülen pH değerleri ile linyitin öğütülebilirlik değerleri arasında anlamlı bir ilişkiye rastlanılmamıştır. Bu sebeple, linyit numunelerinden kül elde edilmiş ve küllerin pH değerleri ölçülmüştür.

Linyitten elde edilen külün pH değeri ile linyitin öğütülebilirliğini temsil eden HGI değeri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 7’de verilmiştir.

Külün pH değeri 10’un altında olduğunda linyitin öğütülebilirliği zor; 10’un üzerinde olduğunda ise daha kolay olduğu elde edilen sonuçlardan açıkça anlaşılmaktadır.



Şekil 7. HGI değeri ile linyit külünün pH değeri arasındaki ilişki

Elde edilen sonuçlardan Afşin-Elbistan linyit numunelerinin öğütülebilirliğinin tahmininde pH değeri önemli bir parametre olabilecek nitelikte olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle; eğer linyit külünün pH değeri 7 ile 10 arasında ölçüldüyse, linyitin içerdiği CaO miktarının az, SiO<sub>2</sub> miktarının ise yüksek olduğuna göstergedir denilebilir. Bu düşüncüyü Şekil 7’de gösterilen grafikte doğrulamaktadır. Kül pH değeri 10’un altında iken; HGI değeri 70’den azdır. Buna karşın; pH değerinin yükselmesine paralel olarak öğütülebilirlik değeri de yükselmiştir.

## 4 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Afşin-Elbistan Linyit Havzasında üretilen linyitler bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bu nedenle; 21 adet karotlu sondaj logundan örnekler alınmış ve elde edilen sonuçların daha güvenilir olması ve sahayı temsil etmesi sağlanmıştır.
- Afşin-Elbistan linyitlerinin kimyasal içeriğinin öğütülebilirliğini etki ettiği ortaya konmuştur.
- Yüksek CaO içeriğine sahip linyit numunelerinin öğütülebilirliği kolaydır.
- SiO<sub>2</sub> miktarının artışına bağlı olarak linyit numunelerinin öğütülebilirliği zordur.
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarına bağlı olarak linyit numunelerinin öğütülebilirliği değişkenlik göstermiştir.
- Linyitten elde edilen külün pH değerinden linyitin öğütülebilirliği tahmin edilebilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Altiner, M., Yıldırım M., and Vapur, H., 2012 Effects of Microwave and Conventional Drying Methods on Grinding Characteristics of Afşin-Elbistan Lignite, Proceedings of the 13th. International Mineral Processing Symposium, MUĞLA, TÜRKİYE, 10-12 Ekim 2012, pp.737-745
- Azahari, H. L., 1990, The Effect of Moisture on the Grindability of Indonesian Coals, Dissertation (M. Metl.), University of Wollangang (Australia), 311 P
- Bagherieh, A. H., James, C., Hower, A. R., Bagherieh E., 2008, Studies of the relationship between petrography and grindability for Kentucky coals using artificial neural network a International Journal of Coal Geology 73 130 – 138
- Chehreh Chelgania, S., James, C. Hower, E. Jorjania, Mesroghlia Sh., Bagherieha A.H. 2008 Prediction of coal grindability based on petrography, proximate and ultimate analysis using multiple regression and artificial neural network models, Fuel Processing Technology, 89, 13-20
- Doğan, Z. M., Hoşten, Ç., ve Başol, A., 1984, Kömür Rutubetinin Türkiye’deki Bazı Kömürlerin Öğütülebilirliğine Etkisi. Türkiye 4. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak-Kdz Ereğli s.251-259.
- Dutkiewicz, R. K., S. F. Scieszka, and R. H. V. Fintel. 1986. A study of the energy-size reduction relationship in impact crushing of coal. Power Technology 49(1): s. 83–86.

- Ghosal, A., Roy, L. C., Bose, R. N., ve Lahiri, A., 1958, Grindability of Indian Coals, Journal of the Institute of Fuel, 31 s. 50-5.
- Jorjani, A., James, C., Hower, S., Chehreh C., Mohsen. A. S., 2008, Studies of relationship between petrography and elemental analysis with grindability for Kentucky coals, Fuel 87, 707–713
- Li Peishenga, Xiong Youhuia,, Yu Dunxia, Sun Xuexina, 2005, Prediction of grindability with multivariable regression and neural network in Chinese coal, Fuel 84, s. 2384–2388.
- Özbayoğlu G., Özbayoğlu A. M., Özbayoğlu M. E., 2008, Estimation of Hardgrove grindability index of Turkish coals by neural networks, Int. J. Miner. Process. 85, 93 – 100
- Radi, D. B., M. O. Obradovi, and M. M. Stanojevi. 2011. A study on the grindability of serbian coals. Thermal Science 15(1): 267–274
- Tiryaki, B. 2005. Technical note practical assessment of the grindibility of coal using its hardness characteristics. Rock Mechanics & Rock Engineering 38(2): s. 145–151.
- Trimble, A., Hower, J., 2002. Studies of the Relationship between Coal Petrology and Grinding Properties. Southeast-Northcentral Geological Society of America, Lexington, KY, April.
- Sengupta, A. N. 2002. An assessment of grindibility index of coal. Fuel Processing Technology 76(1): 1–10
- Stnadish, N., Yu, A. B., and Azahari, H. L., 1993 Grindability of Indonesian Coals, Publications of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 1993, 3/93(XVIII International Mineral Processing Congress, Vol.5), p. 1347-56.
- Ural. S., Akyıldız M., 2004, Studies of the relationship between mineral matter and grinding properties for low-rank, coals, International Journal of Coal Geology 60 81–84
- Venkoba R., Gopalakrishna, S. J., 2009, Hardgrove grindability index prediction using support vector regression Int. J. Miner. Process. 91 55–59
- Vuthaluru H.B., Brooke R.J., Zhang D.K., Yan H.M., 2003. Effects of moisture and coal blending on Hardgrove Grindability Index of Western Australian coal Fuel Processing Technology 81 67– 76

# Soma Kömürlerinin Açık Havada Kurutulmasının Öğütme Maliyetine Etkisi

## *Effect of Open Air Drying of Soma Coals on Grinding Cost*

İ. Demir, Ş. G. Özkan, C. Güngören, Y. Baktarhan

*İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul*

**ÖZET** Türkiye kömür rezervlerinin büyük bir kısmı yüksek nem içeren düşük kaliteli linyitlerden oluşmaktadır. Bu nedenle bu tip linyitler genellikle termik santrallerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Ocaktan tüvenan olarak çıkarılan linyitler boyut küçültme işlemleri sonrasında termik santrale beslenmektedir. Fakat yüksek nem içeren kömürlerin kurutulmaksızın doğrudan ufalama işlemine tabi tutulması özellikle öğütücülerde tıkanmalara sebep olmakta ve elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan kömürlerin nem değerlerinin azaltılması için büyük oranda enerji tüketen susuzlandırma ve kurutma ekipmanları kullanılmaktadır. Bu çalışmada Soma yöresinden temin edilen tüvenan linyit numunelerinin laboratuvar şartlarında havada kuru baza getirilmesinin ve güneş altında pasif kurutulmasının öğütme maliyetleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla orijinal numune ve farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş temsili linyit numuneleri üzerinde Hardgrove öğütülebilirlik indeksi deneyleri yapılarak, öğütme sonuçları ve maliyetleri karşılaştırılmıştır.

**ABSTRACT** Most of the coal reserves of Turkey constitutes of low grade lignites with high moisture. This low grade lignites are generally use in the thermal power plants after size reduction processes. Subjecting of this coals with high moisture to size reduction processes without drying causes blockages especially in the mills. Thus, dewatering and drying equipment with high energy consumption are used to reduce the moisture content of these coals. In this study, the effect of the drying the lignite coals, from Soma, Turkey, in laboratory conditions up to air dried base, and under the sun, passively on the drying costs was investigated. For this purpose, the hardgrove grindability index experiments were carried out for the original and dried coals with various drying methods and the grinding results and costs were compared.

### **1 GİRİŞ**

Türkiye'nin mevcut fosil enerji kaynakları incelendiğinde, kömür rezervlerinin, petrol ve doğalgaza oranla daha bol olması, artan enerji ihtiyaçlarının karşılanması ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılması için etkin bir şekilde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Türkiye kömür rezervlerinin büyük bir bölümünün düşük kaliteli linyitlerden oluşması nedeniyle kömürlerin

kalitelerinin artırılması için ön işlem uygulanması kaçınılmaz olmaktadır. Kömürün kalitesinin artırılmasında başlıca yöntem neminin giderilmesidir. Nemi giderilen bir kömür görece olarak daha yüksek ısı değere sahip olacaktır. Fakat enerji elde etmekte kullanılan kömürün neminin giderilmesinde yine bir enerji sarfıyatı gerekmektedir. Kömürün neminin uzaklaştırılması işleminde klasik olarak

susuzlandırma/kurutma ekipmanları kullanılabilir. Klasik susuzlandırma/kurutma ekipmanları tükettikleri enerjiyi ya birincil enerji türü olan elektrik enerjisi ya da fosil yakıtlar ile karşılamaktadırlar. Bu da maliyeti arttırmaktadır. Bu nedenle klasik mekanik susuzlandırma/kurutma cihazları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanan yöntemlerin kullanılması öngörülmektedir. Bu yöntemlerden biri de kömürlerin açık stok sahalarında bekletilerek doğal kurutma ile nemlerinin azaltılmasıdır. Güneş enerjisi ve hava sıcaklığı ile kömürler, mevcut nemlerinin bir kısmını maliyetsiz bir şekilde kaybedebilmektedir (İpekoğlu, 1994; Kural, 1998; Ateşok ve Atak, 1991; Speight, 2005; Chandralal, 2014; Demir, 2009; Demir, 2016).

### 1.1 Kömürde Nem

Kömürlerde bünye nemi, yüzey nemi ve moleküler su olmak üzere üç tür nem bulunmaktadır. Bünye nemi kömürün yapısında yer alır ve inorganik maddelere bağlı bulunan sudan meydana gelir. Bünye nemi kömürün cinsine göre bitümlü kömürlerde %1-3 arasında değişirken, linyitlerde %55'e kadar çıkabilmektedir. Yüzey nemi, kömürde serbest halde bulunan, nemli havadan ve kömürün su ile temasından meydana gelir. Molekül suyu ise kömüre kimyasal olarak bağlanmıştır ve kömürün toplam nemi içindeki payı oldukça düşüktür.

Kömürler, kömürleşme derecelerine göre, ocak çıkışında belirli oranlarda nem içerirler. Ocaktan çıkartılan tüvenan taşkömürü %1-3, sert linyitler %20-30, yumuşak linyitler %40-60 ve turbalar ise %60'ın üzerinde nem içerebilmektedir. Görüldüğü gibi, kömürün nem içeriği kömürleşme derecesi arttıkça azalmaktadır. Türkiye linyitlerinin ancak %20 kadarının nem içeriği %20'nin altında olup, geri kalanı yüksek oranda nem içermektedir. Türkiye linyitlerinin ortalama nem içeriği %40 civarındadır (Kural, 1998; Speight, 2005; Pikon ve Mujumdar, 2006; Jangam ve diğ., 2010; Ateşok ve Kangal, 2012).

### 1.2 Kömür Susuzlandırma ve Kurutma

Düşük kaliteli kömürlerin kalitelerinin artırılmasında çeşitli kömür hazırlama yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler de genellikle yaş yöntemlerdir. Fazla miktarda su kullanılan kömür hazırlama işlemleri sonunda suyun uzaklaştırılması hem ürün hem de artık açısından önemlidir. Elde edilen temiz kömürün suyundan ayrılması nakliye, stoklama, satış şartları ve izleyen işlemleri etkilerken, artığın susuzlandırılması çevresel problemler açısından gereklidir. Tüvenan ve yıkanmış kömürün susuzlandırılması ve/veya kurutulması yaygın bir yöntem olarak kullanılmaktadır.

Kömür susuzlandırmanın genel nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kömürün ısı değerinin artırılması
- Nakliye giderlerinin azalması
- Nakliye sırasında nem nedeniyle ortaya çıkacak sorunların (sıvı davranışı, donma vs.) ortadan kaldırılması
- Kırma ve öğütme cihazlarının kapasitesinin artırılması
- Kok, briket ve çeşitli kimyasal maddelerin üretimi için uygun bir kömürün sağlanması
- Kömürün kuru zenginleştirilmesine olanak sağlaması
- Yakma sistemlerinde verim artışı
- Aynı enerjiyi üretmek için daha az kömür tüketimi ve buna bağlı çevresel etkilerin azalması (Brown ve Scheiner, 1983; Hand, 2000; Bullinger ve diğ., 2002; Pikon ve Mujumdar, 2006; Lucarelli, 2008; Miller, 2010; Tokgöz, 2012; Chandralal ve diğ., 2014; Demir, 2016).

Bu çalışmada Türkiye'nin Manisa ili Soma bölgesinden temin edilen tüvenan linyit numunelerinin laboratuvar şartlarında havada kuru baza getirilmesinin ve güneş altında pasif kurutulmasının öğütme maliyetleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla orijinal numune ve açık havada kurutma yöntemi ile kurutulmuş temsili linyit numuneleri üzerinde Hardgrove öğütülebilirlik indeksi deneyleri yapılarak, öğütme sonuçları ve enerji tüketim maliyetleri karşılaştırılmıştır.

## 2 MALZEME VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında Türkiye'nin önemli kömür yataklarından olan Manisa-Soma bölgesinden temsili kömür numuneleri alınmıştır. Bu numuneler üzerinde nem, kül, uçucu madde, sabit karbon, elementer ve ısıl değer analizleri yapılmıştır.

Toplam nem ve havada kurutulduktan sonra örnekte kalan kalıntı nemi analizleri TS 690 ISO 598 (Metod-C) standardına göre ve Memmert ULM500 etüv kullanılarak yapılmıştır. Uçucu madde analizlerinde, TS 711 ISO 562 standardından yararlanılmıştır. Standartta uygun olarak -0,212 mm tane boyutunda, 1,000±0,1 gr numune, kapaklı seramik kroze içerisine konulmuş ve 900±5 °C'ye ısıtılmış Lenton AWF 130/25 kül fırınında 7 dakika (±5 sn) tutularak uçucu maddelerini kaybetmesi sağlanmıştır. Kül analizleri, -0,212 mm tane boyutunda 1,000±0,005 gr numune ile 815±10 °C'ye ısıtılmış Lenton AWF 130/25 fırında yapılmıştır. Kül analizlerinde TS ISO 1171 standardından yararlanılmıştır.

Kömür numunelerinin C, H, N analizleri, ASTM D 5373 standardına uygun olarak Leco 628CHN cihazı kullanılarak, S analizleri ise ASTM D 4239 standardına uygun olarak Leco 628S cihazları kullanılarak yapılmıştır. Isıl değer analizleri ASTM D 5865 standardına uygun olarak Leco AC 500 izotermal kalorimetre cihazı ile yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Manisa - Soma numunesi tam analiz sonuçları.

Analiz	Orjinal	Havada Kuru	Kuru
Nem	16,10	8,40	-
Kül	30,88	33,71	36,81
Uçucu Madde	24,51	26,76	29,21
Sabit Karbon	28,51	31,13	33,98
C (Karbon)	35,69	38,97	42,54
H (Hidrojen)	2,78	3,04	3,31
N (Azot)	0,68	0,74	0,81
O (Oksijen)	13,07	14,27	15,58
S (Yanar Kükürt)	0,80	0,87	0,95
Alt Isıl Değer	2.986	3.265	3.617
Üst Isıl Değer	3.157	3.446	3.762

### 2.1 Kurutmada Kullanılan Kütle Ve Enerji Dengesi Hesaplamaları

Kurutma işlemleri, sabit bir süre baz alınarak ve termodinamik denklemlerden faydalanarak oluşturulmuş kütle denge hesapları ile incelenmektedir. Kurutma işlemlerinde kütle-denge hesapları yapılırken kurutulacak kömür miktarı, kömür nem içeriği, kurutmada giderilen nem miktarı, kurutma sonrası çıkan kömürün sıcaklığı, kurutma havası miktarı için, ortam sıcaklığı ve nemi, kurutma hava sıcaklığı ve nemi, kömürün ısı kapasitesi gibi parametreler kullanılmaktadır (Küçükbayrak, ve diğ., 1991; Kural, 1991; Özdoğan ve diğ., 1998; Ateşok ve Kangal, 2012).

### 2.2 Güneş Enerjisi Ve Hava Verisi Ölçümleri

Açık havada kurutma deneyleri İstanbul-Silivri bölgesinde yapılmıştır. Bu bölgeye ait 1 yıllık zaman periyodundaki güneş enerjisi ve hava istasyonu verileri sürekli olarak kaydedilmiştir. Güneş enerji verilerinin kaydedilmesinde 60.000 veri kaydetme kapasitesine sahip Hioki LR5041 veri kaydedici ve buna bağlı EkoML-01 pıranometre kullanılmıştır. Veri kaydedicinin kaydetme süresi 30 saniyede 1 veri olacak şekilde ayarlanmıştır. Hava verileri ise PCE hava istasyonu kullanılarak kaydedilmiştir. 10 dakikada 1 veri kaydedecek şekilde ayarlanan hava istasyonu hava ve ortam sıcaklığı, hava ve ortam nemi, rüzgar şiddeti, yağış miktarı gibi verilerin kaydedilmesinde kullanılmıştır. 5.000 veri kaydetme kapasitesine sahip olan cihaz, verileri radyo sinyalleri ile 100 m mesafeye iletebilecek şekilde tasarlanmış olup kumanda paneli ile uzaktan veri takibine imkan vermektedir.

İstanbul-Silivri bölgesinde yapılan güneş enerji ölçüm verileri incelendiğinde, yaklaşık 11 saat ile en uzun güneş alma süresinin temmuz ayında gerçekleştiği, ortalama yıllık güneşlenme süresinin 2.440 saat (günlük toplam 6,68 saat), ortalama toplam ışınım şiddetinin 1.287 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,52 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu ölçülmüştür.

### 2.3 Açık Havada Yapılan Deneysel Çalışmalar

Manisa-Soma bölgesinden alınan numuneler laboratuvar tipi çeneli kırıcı yardımı ile kapalı devre kırılarak -20 mm boyutuna getirilmiştir. Daha sonra Retsch kare kesitli paslanmaz elekler kullanılarak kuru eleme yöntemi ile -20+8 mm tane boyutuna sınıflandırılarak deney numuneleri elde edilmiştir. Bu numunelerle açık havada güneş altında farklı gün ve saatlerde doğal kurutma deneyleri yapılmıştır.

Manisa-Soma bölgesinden alınan numunelerin orijinal nemleri %16,1 olmasına karşın -20+8 mm boyutuna sınıflandıktan sonra numuneler üzerinde yapılan nem analizi sonucunda başlangıç nemi %12,57 olarak hesaplanmıştır. Deneyler, 0,05 m<sup>2</sup>'lik kaba 10,0 kg/m<sup>2</sup>'lik besleme miktarı ile yapılmıştır (Şekil 1).

Kurutma deneylerinin yapıldığı yerde (İstanbul-Silivri) Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları içerisinde gün doğumu 05:30±10 dk ve gün batımı 20:30±10 dk olarak gerçekleşmektedir. Deney yapılan yerin topoğrafya ve çevre şartları (ev, ağaç vs.) 09:00'dan önce ve 19:30'dan sonra ölçüm yapılan yere gölge düşmesine neden olmaktadır. Bu sebeple 09:00-19:30 saatleri arasında deneyler yapılmıştır.

Güneşin geliş açısının kömürde nem gidermeye etkisinin incelenmesi amacı ile güneşin geliş açısını baz alarak 3 farklı zaman aralığında deney yapılmıştır. Aynı gün içerisinde 3 farklı zaman aralığı, "güneşin en tepede olduğu saatten önce (sabah)", "güneş en tepede iken (öğle)" ve "güneşin en tepede olduğu saatten sonra (akşam)" olacak şekilde ayarlanmaya çalışılmıştır. Kurutma deneyleri, günün 09:00-12:30, 12:30-16:00 ve 16:00-19:30 saat aralıklarına bölünmesi ve her seferinde aynı miktar yeni numune konularak ve aynı sürede (3,5 saat) numunelerin güneş altında bırakılması şeklinde yapılmıştır.

Kömürün kuruma davranışının belirlenmesi amacı ile her 30 dakikada bir numune tartım ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bunun yanı sıra anlık olarak güneş enerjisi ve hava verileri kaydedilmiştir.

Grafiklerde ölçek olarak kullanılan kısaltmaların açıklamaları aşağıda verilmiştir:

**hs:** Açık havada sabah (09:00-12:30) kurutulmuş kömürün nem değişim eğrisi

**ho:** Açık havada öğle (12:30-16:00) kurutulmuş kömürün nem değişim eğrisi

**ha:** Açık havada akşam (16:00-19:30) kurutulmuş kömürün nem değişim eğrisi

**Güneş enerjisi:** Nem içeriği değişimi grafiklerindeki güneş enerjisi eğrileri, anlık olarak ölçülen güneş enerjisinin saatlik ortalamaları alınarak oluşturulmuştur.



Şekil 1. Açık hava deney düzeneğinden genel bir görünüş.

### 2.4 Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks Değerinin Belirlenmesi

Kömürün termik santrallerde kullanımı için boyut küçültme işlemi kaçınılmazdır. Termik santrallerde kullanılacak kömürün nemi, kömür yakma sırasında verimi azaltabildiği gibi diğer bir olumsuz etkisi de öğütme işlemleri sırasında tıkanmalara veya yeteri kadar iyi bir ufalanmaya imkan vermemesidir. Bunun sonucunda öğütme için harcanan enerji verimli olarak kullanılamamaktadır. Kurutma işlemleri sonucunda kömürün öğütülebilirliğinin arttığı bilinmektedir (Szwilski, 1985; Su ve diğ., 2004; Tichánek, 2008).

Numunelerin nemleri ve öğütülebilirlikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için Hardgrove

öğütülebilirlik tayini cihazı kullanılarak ASTM D409/D409M-12 standardına göre deneyler yapılmıştır.

Kurutma deneyleri sonucunda elde edilen numuneler merdaneli kırıcı yardımı ile -1,18 mm tane boyutuna indirildikten sonra 0,6 mm'lik elekten elenerek -1,18+0,6 mm tane boyutuna sınıflandırılmış ve 50±0,01 g tartılarak Hardgrove öğütülebilirlik indeks tayin cihazına beslenmiştir. Numune ve bilyeler öğütme haznesinin içine konulduktan sonra çalıştırılarak 60±0,25 devir döndürülmüş ve cihaz durdurulmuştur. İşlem sonrası elde edilen numune 0,075 mm'lik elekten elendikten sonra elek altına geçen kömür numunesi tartılmış ve elde edilen değer (1) numaralı formülde yerine konularak HGI değeri bulunmuştur. (Szwilski, 1985; Su ve diğ., 2004; Tichánek, 2008):

$$HGI=13+(6,93*W_a) \quad (1)$$

**HGI:** Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (Birimsiz)

**W<sub>a</sub>:** Hardgrove öğütülebilirlik tayin cihazından çıkan -0,075 mm'lik malzeme miktarı (gr)

Çizelge 2'de linyit kömürleri için Hardgrove öğütülebilirlik indeksine göre öğütülebilirlik sınıflaması verilmiştir (Agus and Waters, 1971).

Çizelge 2. Hardgrove öğütülebilirlik indeksi sonuçlarına göre linyitlerin öğütülebilirlik sınıflama tablosu (Agus and Waters, 1971).

HGI	Öğütülebilirlik
>100	Çok Kolay
80-100	Kolay
60-80	Orta Güçlükte
40-60	Zor
<40	Çok Zor

## 2.5 Bond İş İndeks Değerinin Belirlenmesi

Yapılan literatür araştırmasında Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi (HGI) ile Bond İş İndeksi (W<sub>i</sub>) arasında kuvvetli bir ilişkiye rastlanılmıştır. Bond (1954), yaptığı ilk çalışmada, elde edilen HGI değeri ile iş

indeksi arasındaki bağıntı aşağıdaki formül ile belirlenmiştir.

Hardgrove öğütülebilirlik indeks değerlerinden yararlanılarak bulunan Bond iş indeksi için aşağıdaki denklemden yararlanılmıştır:

$$W_i=88/\sqrt{HGI} \quad (2)$$

**W<sub>i</sub>:** Bond iş indeksi (kWh/t)

Belirtilen formül kullanılarak farklı nem içeriğindeki linyit numunelerinin HGI değerlerinden yararlanılarak Bond İş İndeks (W<sub>i</sub>) değerleri bulunmuştur. Böylece kömürün öğütülmesi için gereken ton başına enerji miktarı ve maliyet hesaplarında kolaylık sağlayacağı düşünülmüştür.

## 2.6 Öğütmeye Harcanan Enerji Maliyeti Hesapları

Çalışma kapsamında alınan kömür numunelerinin boyut küçültme işlemi sırasında harcadıkları enerjinin kömür nem içeriği ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bunun için Hardgrove öğütülebilirlik indeksi cihazı kullanılarak elde edilen HGI değerleri Bond –HGI dönüşüm formülü ile Bond iş indeksi değerlerine çevrilmiştir. Daha sonra ise Bond parçalanma için enerji tüketim formülünden (3) yararlanarak kömür numunelerinin belirlenen sabit bir boyuta getirilebilmesi için gereken enerji tüketimi ve buna karşılık gelen maliyetler hesaplanmıştır (Bond, 1961-a; 1961-b).

$$W_b=10*W_i*(1/\sqrt{(P_{80})}-1/\sqrt{(F_{80})}) \quad (3)$$

**W<sub>b</sub>:** Değirmenin harcadığı enerji miktarı (kWh)

**F<sub>80</sub>:** Değirmene beslenen malzemenin %80'inin geçtiği elek açıklığı (µm)

**P<sub>80</sub>:** Değirmenden çıkan malzemenin %80'inin geçtiği elek açıklığı (µm)

Çalışma kapsamında öğütme için gereken enerji tüketiminin, nem değişimi ile ilişkisi kurularak maliyet hesapları yapılmıştır. HGI – Bond iş indeksi dönüşümleri ile yapılan öğütme maliyeti hesaplarında, örnek olarak 1 ton Manisa–Soma kömürünün 40 mm boyutundan 0,1 mm boyutuna indirilmesi için gerekli enerji tüketim miktarları ve buna karşılık enerji maliyetleri hesaplanmıştır.

### 3 BULGULAR

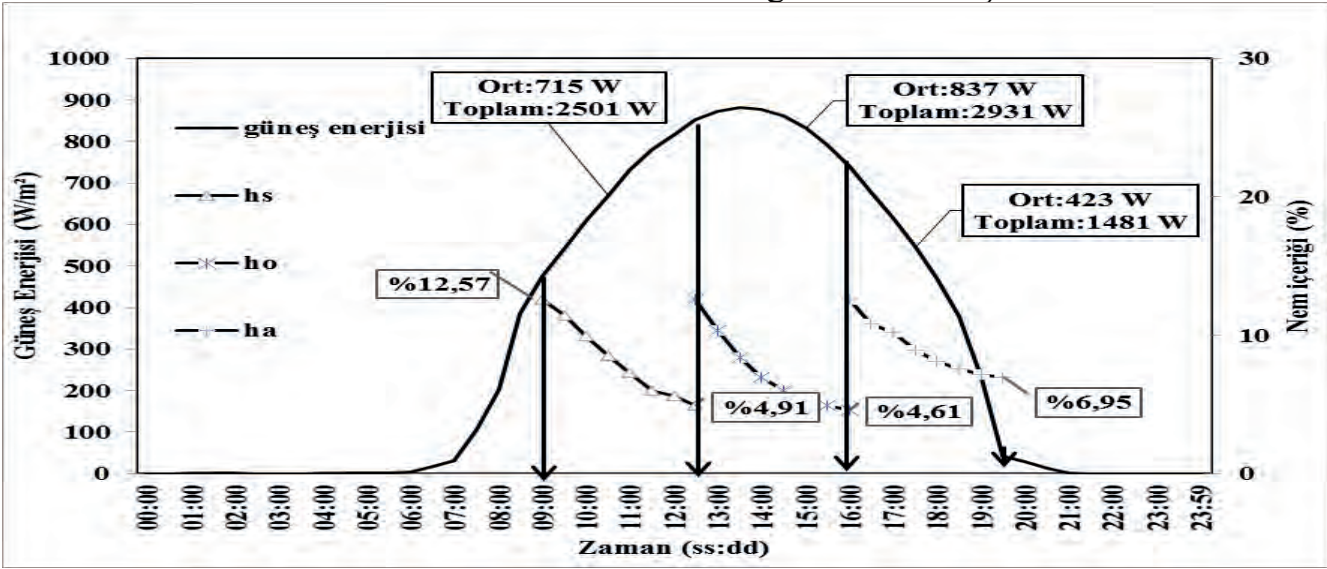
Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

#### 3.1 Manisa - Soma Bölgesi Kömür Numuneleri Üzerinde Açık Havada Yapılan Kurutma Deneyleri

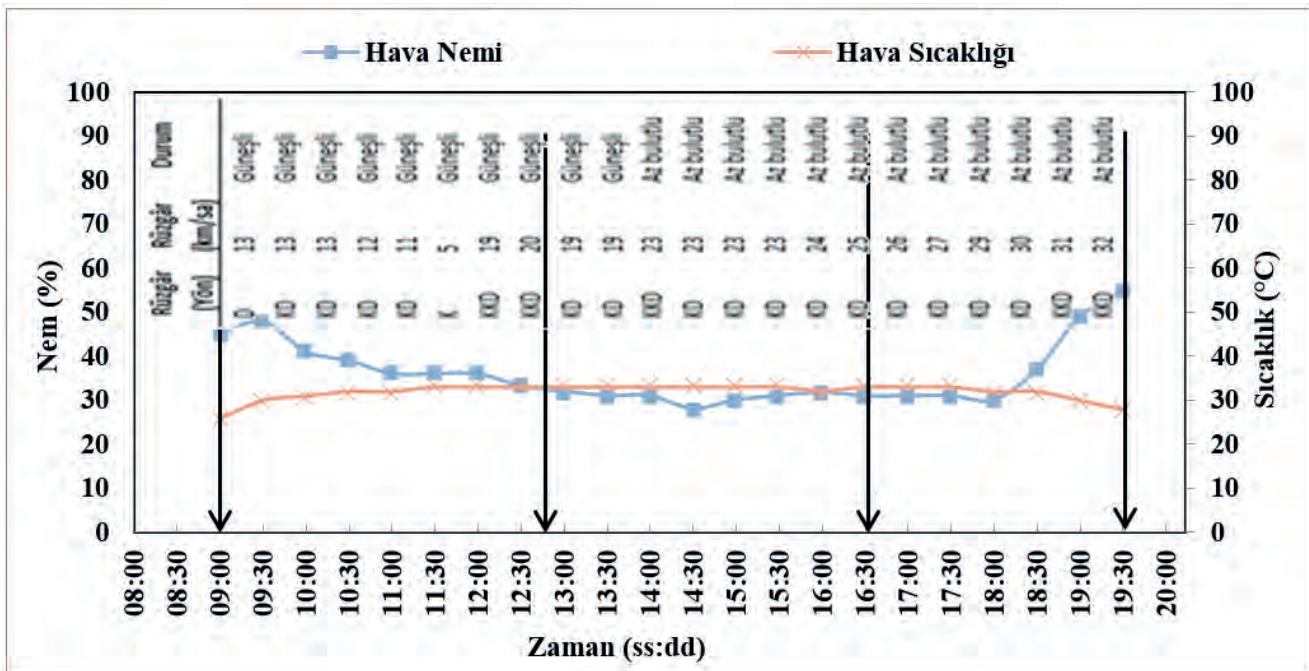
Güneşin geliş açısı yıl boyunca değiştiği ve buna bağlı olarak hava şartlarının da değişebildiği bilinmektedir. Bu sebeple farklı aylarda açık havada kurutma deneyleri yapılmıştır.

#### 3.1.1 16.07.2015 Tarihinde Yapılan Deneyler

Manisa-Soma bölgesinden alınan ve -20+8 mm boyutuna sınıflanmış kömür numunesi üzerinde açık havada yapılan kurutma deneylerindeki numune nem içeriği değişimleri grafiği ve 16.07.2015 tarihinde deneylerin yapıldığı İstanbul-Silivri bölgesine ait güneş enerji grafiği Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 3’te ise deneylerin yapıldığı güne ait hava sıcaklık ve nem değerleri grafiği ve meteorolojik parametrelerin değerleri verilmiştir.



Şekil 2. 16.07.2016 tarihinde açık havada yapılan kurutma deneylerindeki numune nem içeriği değişimleri.



Şekil 3. 16.07.2015 tarihine ait hava verileri.



16.07.2015 tarihinde 09:00 - 12:30, 12:30-16:00 ve 16:00-19:30 saatleri arasında ayrı ayrı yapılan açık havada kurutma deneyleri sonucunda, sırası ile numunenin neminin %4,91'e, %4,61'e ve %6,95'e indiği ölçülmüştür. Buradan numunenin başlangıç nemine göre sırası ile %60,9, %63,3 ve %44,7 oranında kurutma sağlandığı görülebilmektedir.

%12,57 nem içeriğine sahip Manisa-Soma numunesinin tamamının kuru baza geçebilmesi için teorik olarak 51,5 W enerji gereksinimi olduğu hesaplanmıştır. Bunu sağlayabilecek güneş enerjisinin ise kayıplar ihmal edildiğinde  $1.030 \text{ W/m}^2$  olması yeterli olacaktır.

16.07.2015 tarihinde yapılan havada kurutma deneyinde, 09:00-12:30 saatleri arasında toplam güneş enerjisi  $2501 \text{ W/m}^2$  olarak ölçülmüştür. Bu da  $0,05 \text{ m}^2$  olan kap içerisindeki malzemeye 125,1 W enerji geldiğini göstermektedir. Bu süreçte havada kurutulan kömürün nem içeriğinin %4,91'e ulaştığı ölçülmüştür. Manisa - Soma kömür numunesinin %12,57 nem içeriğinden %4,91 nem içeriğine inmesi için 36,6 W enerji harcandığı anlamına gelmektedir. Buradan,  $125,1-36,6=88,5 \text{ W}$ 'lık çevresel etkenler nedeni ile enerji kaybı (rüzgar ve kabın ısınmasında kaybolan enerji) hesaplanabilir.

16.07.2015 tarihinde, 12:30–16:00 saatleri arasında toplam güneş enerjisi  $2931 \text{ W/m}^2$  olarak ölçülmüştür. Bu da kap içerisindeki malzemeye 146,5 W enerji geldiğini göstermektedir. Bu süreçte havada kurutulan kömürün nem içeriği %4,61'e ulaştığı ölçülmüştür. Manisa-Soma kömür numunesinin %12,57 nem içeriğinden %4,61 nem içeriğine ulaşması için 38,9 W enerji harcandığı anlamına gelmektedir.  $146,5-38,9=107,6 \text{ W}$ 'lık enerji kaybı hesaplanmıştır.

16.07.2015 tarihinde, 16:00–19:30 saatleri arasında toplam güneş enerjisi  $1481 \text{ W/m}^2$  olarak ölçülmüştür. Bu da kap içerisindeki malzemeye 74,0 W enerji geldiğini göstermektedir. Bu süreçte havada kurutulan kömürün nem içeriği %6,95'e ulaştığı ölçülmüştür. Manisa-Soma kömür numunesinin %12,57 nem içeriğinden %6,95 nem içeriğine ulaşması için 29,9 W enerji

harcandığı anlamına gelmektedir.  $74,0-29,9=44,1 \text{ W}$ 'lık enerji kaybı hesaplanmıştır.

Çizelge 3. 16.07.2015 tarihinde yapılan kurutma deneyindeki güneş enerjisi dağılımı.

16.07.2015	Nem (%)	Toplam ( $\text{W/m}^2$ )	Gelen (W)	Faydalı (W)	Kayıp (W)
09:00-12:30	4,91	2501	125,1	36,6	88,5
12:30-16:00	4,61	2931	146,5	38,9	107,6
16:00-19:30	6,95	1481	74,0	29,9	44,1

### 3.1.2 20.09.2015 Tarihinde Yapılan Deneyler

20.09.2015 tarihinde yapılan açık havada kurutma deneylerindeki numune nem içeriği değişimleri grafiği ve deneylerin yapıldığı İstanbul–Silivri bölgesine ait güneş enerji grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 5'te ise deneylerin yapıldığı güne ait hava sıcaklık ve nem değerleri grafiği ve meteorolojik parametrelerin değerleri verilmiştir.

20.09.2015 tarihinde 09:00-12:30, 12:30-16:00 ve 16:00-19:30 saatleri arasında ayrı ayrı yapılan açık havada kurutma deneyi sonucunda, sırası ile numunenin neminin %6,73'e, %6,27'ye ve %8,55'e indiği ölçülmüştür. Buradan numunenin başlangıç nemine göre sırası ile %35,8, %50,1 ve %32,0 oranında kurutma sağlandığı görülebilmektedir.

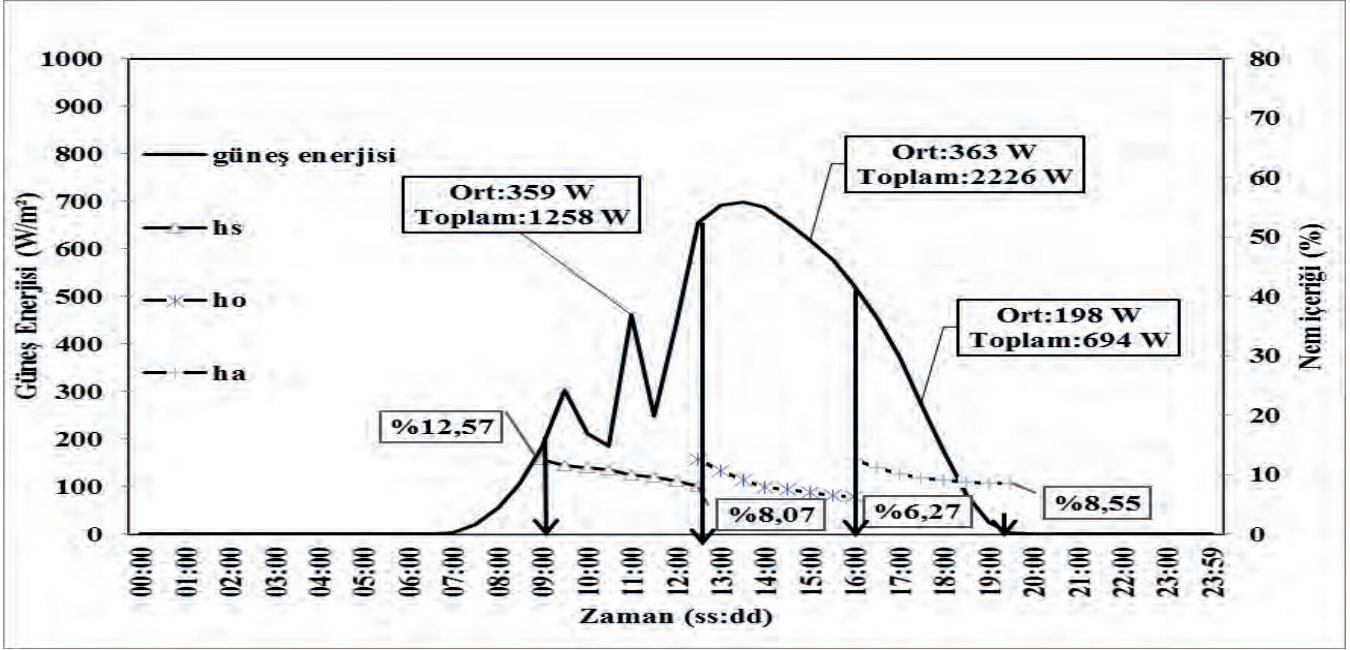
20.09.2015 tarihinde yapılan havada kurutma deneyinde, 09:00-12:30 saatleri arasında toplam güneş enerjisi  $1258 \text{ W/m}^2$  olarak ölçülmüştür. Bu da  $0,05 \text{ m}^2$  olan kap içerisindeki malzemeye 62,9 W enerji geldiğini göstermektedir. Bu süreçte havada kurutulan kömürün nem içeriğinin %6,73'e ulaştığı ölçülmüştür. Manisa-Soma kömür numunesinin %12,57 nem içeriğinden %6,73 nem içeriğine inmesi için 30,7 W enerji harcandığı anlamına gelmektedir. Buradan,  $62,9-30,7=32,2 \text{ W}$ 'lık enerji kaybı hesaplanmıştır.

20.09.2015 tarihinde, 12:30–16:00 saatleri arasında toplam güneş enerjisi  $2226 \text{ W/m}^2$  olarak ölçülmüştür. Bu da kap içerisindeki malzemeye 111,3 W enerji geldiğini göstermektedir. Bu süreçte havada kurutulan kömürün nem içeriği %6,27'ye ulaştığı ölçülmüştür. Manisa-Soma kömür

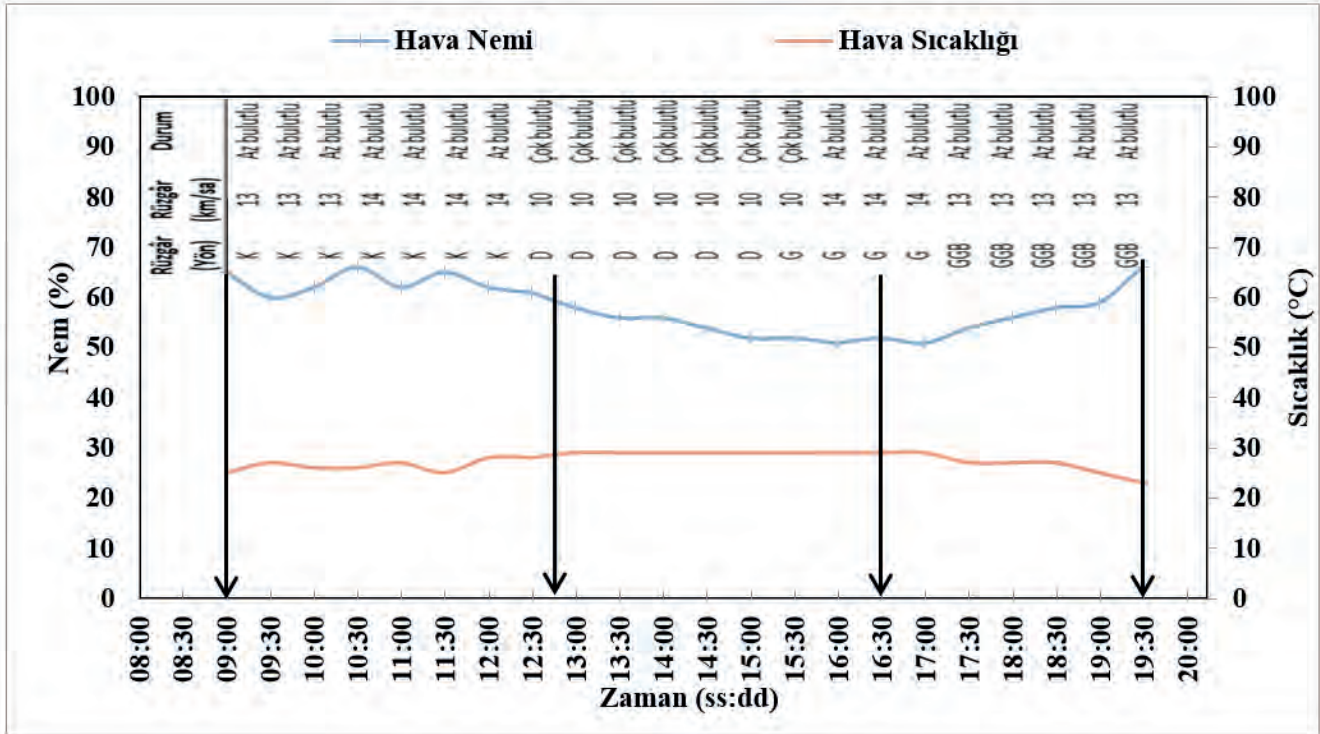
numunesinin %12,57 nem içeriğinden %6,27 nem içeriğine ulaşması için 32,2 W enerji harcandığı anlamına gelmektedir.  $111,3 - 32,2 = 79,1$  W'lık enerji kaybı hesaplanmıştır.

20.09.2015 tarihinde, 16:00–19:30 saatleri arasında toplam güneş enerjisi  $694,4 \text{ W/m}^2$  olarak ölçülmüştür. Bu da kap içerisindeki malzemeye 34,7 W enerji geldiğini

göstermektedir. Bu süreçte havada kurutulan kömürün nem içeriğinin %8,55'e ulaştığı ölçülmüştür. Manisa-Soma kömür numunesinin %12,57 nem içeriğinden %8,55 nem içeriğine ulaşması için 24,5 W enerji harcandığı anlamına gelmektedir.  $34,7 - 24,5 = 10,2$  W'lık enerji kaybı hesaplanmıştır.



Şekil 4. 20.09.2016 tarihinde açık havada yapılan kurutma deneylerindeki numune nem içeriği değişimleri.



Şekil 5. 20.09.2015 tarihine ait hava verileri.

Çizelge 4. 20.09.2015 tarihinde yapılan kurutma deneyindeki güneş enerjisi dağılımı.

20.09.2015	Nem (%)	Toplam (W/m <sup>2</sup> )	Gelen (W)	Faydalı (W)	Kayıp (W)
09:00-12:30	6,73	1258	62,9	30,7	32,2
12:30-16:00	6,27	2226	111,3	32,2	79,1
16:00-19:30	8,55	694	34,7	24,5	10,2

### 3.1.3 Hardgrove İndeks ve Bond İş İndeksi Deney Sonuçları

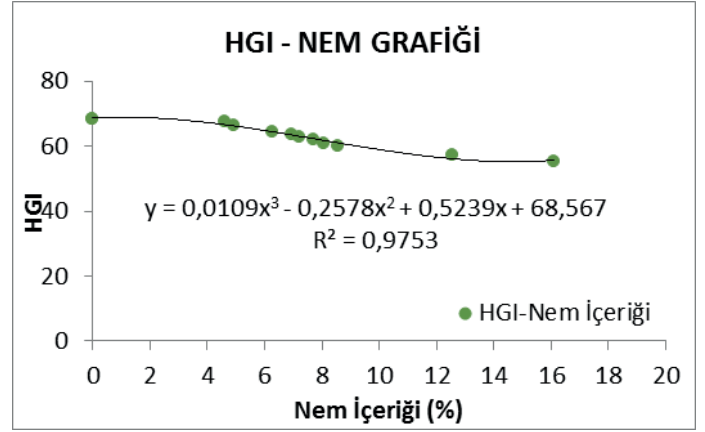
Kurutma deneylerinden elde edilen ürünler üzerinde Hardgrove öğütülebilirlik indeksi tayini deneyleri yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre Hardgrove öğütülebilirlik indeksi, kömür nem içeriğinin azalması ile arttığı gözükmemektedir. Bu da nemi giderilen kömür numunelerinin kırılabilirliğinin arttığı ve öğütülebilirliklerinin kolaylaştığını göstermektedir. Dolayısı ile boyut küçültme maliyetlerinin azalacağı öngörülebilmektedir.

Bu sonuçlar kullanılarak Bond iş indeksi dönüşümü yapılmıştır. HGI değeri kullanılarak elde edilen Bond İş İndeksi değerleri Çizelge 5’te görülmektedir.

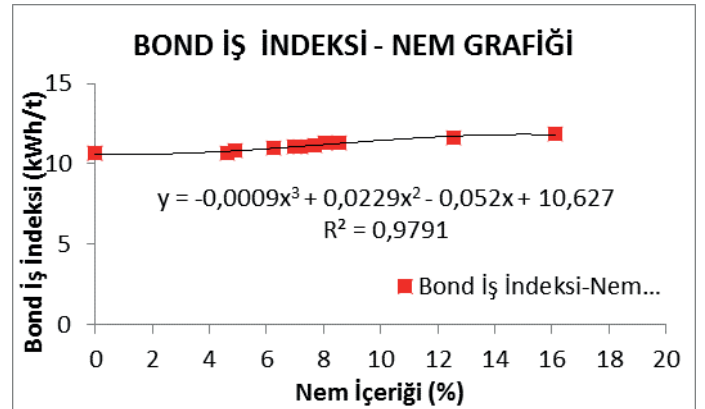
Çizelge 5. Hardgrove öğütülebilirlik indeksi ve Bond iş indeksi sonuçları.

		Nem (%)	-75 µm (g)	HGI (kWh/t)	Wi
-50 mm	Tüvenan	16,10	6,10	55,27	11,84
	Havada	7,70	7,10	62,20	11,16
	Kuru	0,00	8,00	68,44	10,64
	Kuru	0,00	8,00	68,44	10,64
-20 +8 mm	Tüvenan	12,57	6,40	57,35	11,62
	Havada	7,20	7,20	62,90	11,10
	Kuru	0,00	8,00	68,44	10,64
	Kuru	0,00	8,00	68,44	10,64
16.07.2015	09:00-12:30	4,91	7,70	66,36	10,80
	12:30-16:00	4,61	7,90	67,75	10,69
	16:00-19:30	6,95	7,30	63,59	11,04
20.09.2015	09:00-12:30	8,07	6,90	60,82	11,28
	12:30-16:00	6,27	7,40	64,28	10,98
	16:00-19:30	8,55	6,80	60,12	11,35

Yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 5’te verilmiştir. Elde edilen değerlere çizilen HGI-Nem içeriği ilişkisi grafiği Şekil 6’da, Bond iş indeksi-Nem içeriği ilişkisi grafiği ise Şekil 7’de verilmiştir. Çizelge 5’te verilen değerler Çizelge 2’ye göre değerlendirildiğinde, orijinal bazda, havada kuru bazda ve kuru bazda Manisa – Soma bölgesi kömürlerinin orijinal bazda zor olan öğütülebilirlikleri havada kuru ve kuru bazda orta derecede zor olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 6. Numunelerin HGI–nem içeriği ilişkisi grafiği.



Şekil 7. Numunelerin Bond iş indeksi–nem içeriği ilişkisi grafiği.

Bond (1954)’a göre (2) numaralı formül kullanılarak elde edilen iş indeksi değeri 11,84–10,64 kWh/ton arasında değişmektedir. Şekil 5’te görüldüğü gibi nem içeriği azaldıkça kömür numunelerinin öğütülebilmesi için gerekli olan enerji de azalmaktadır.

Örnek olarak, %16,1 nem içeriğine sahip Manisa-Soma kömürünün kuru baza getirilmesi sonucunda artan HGI değerine

karşın Bond iş indeksi azalmaktadır. 1 tonluk besleme miktarı üzerinden örnek verilirse, tüvenan hali ile F<sub>80</sub> boyutu -40 mm iken öğütücü çıkışında (P<sub>80</sub>) -100 µm tane boyutuna getirmek için 10,11 kWh enerji tüketimi gerekmektedir. Bunun enerji maliyeti ise 2,47 TL olarak hesap edilmiştir. Diğer sonuçlar ise Çizelge 7’de verilmiştir.

Maliyet hesaplarında, sanayi nihai tüketicilerinin 2016 yılı ortalama birim fiyatı (25,2 Kuruş/kWh) üzerinden elektrik için ödedikleri değerler (Çizelge 6) baz alınarak hesaplanmıştır (TUIK, 2016).

Çizelge 6. Elektrik birim fiyatları (TUIK, 2016).

Elektrik ortalama birim fiyatları (Kuruş/kWh)*, I. Dönem: Ocak-Haziran, II. Dönem: Temmuz- Aralık					
	2014		2015		2016
	II. Dönem	I. Dönem	II. Dönem	I. Dönem	I. Dönem
<b>Konut</b>	37,4	38,9	38,9	41,3	
<b>Sanayi</b>	23,6	24,4	24,4	25,2	

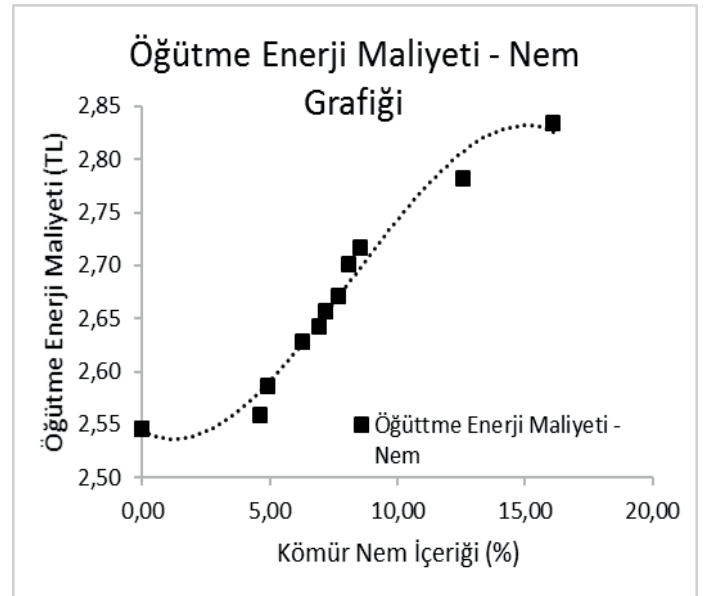
\*Konut ve Sanayi nihai tüketicilerin altı aylık dönemde, tüm vergiler dahil olmak üzere, 1 kWh elektrik için ödediği ortalama değerlerdir.

Çizelge 7. Bond iş indeksine göre öğütme enerji maliyet sonuçları.

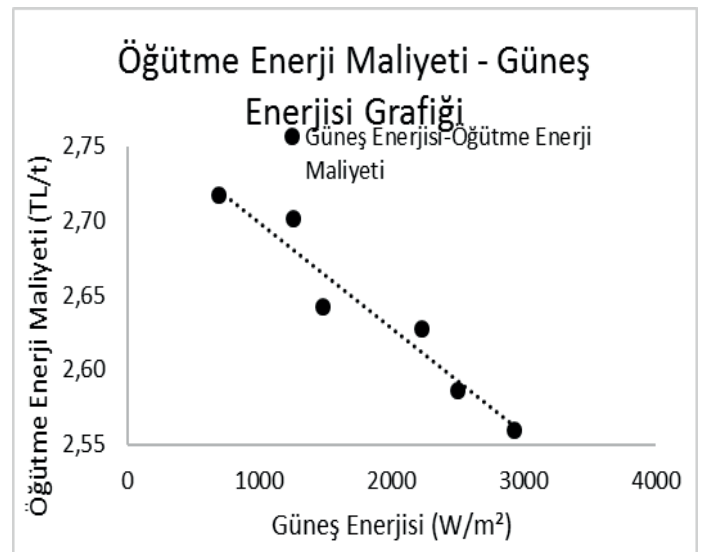
	Nem (%)	Wi (kWh/t)	Wb (kWh)	Maliyet (TL/t)	
-50 mm	Tüvenan	16,1	11,84	11,24	2,83
	Havada Kuru	7,7	11,16	10,60	2,67
	Etüvde Kuru	0	10,64	10,11	2,55
-20 +8 mm	Tüvenan	12,57	11,62	11,04	2,78
	Havada Kuru	7,20	11,10	10,54	2,66
	Etüvde Kuru	0,00	10,64	10,11	2,55
16.07.2015	09:00-12:30	4,91	10,80	10,26	2,59
	12:30-16:00	4,61	10,69	10,16	2,56
	16:00-19:30	6,95	11,04	10,48	2,64
20.09.2015	09:00-12:30	8,07	11,28	10,72	2,70
	12:30-16:00	6,27	10,98	10,43	2,63
	16:00-19:30	8,55	11,35	10,78	2,72

Çizelge 7’den görüleceği üzere, kömür numunelerinin orijinal bazdaki nem içerikleri ile öğütüldüklerinde, kuru bazlarında yapılan bir öğütmeden daha maliyetli olmaktadır. Orijinal bazda nem oranı %16,1 olan Manisa–Soma kömürü için harcanacak öğütme enerji maliyeti kuru baza göre %10 daha fazla olacaktır.

Şekil 8’de Öğütme enerji maliyetinin kurutma sonucu kalan nem içeriğine göre değişimi grafiği, Şekil 9’de ise öğütme enerji maliyetinin güneş enerjisi ile değişimi arasındaki ilişki verilmektedir.



Şekil 8. Öğütme enerji maliyeti ile nem içeriği değişimi grafiği.



Şekil 9. Öğütme enerji maliyeti ile güneş enerjisi değişimi grafiği.

#### 4 TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Manisa-Soma bölgesi kömürleri ile yapılan açık havada kurutma deneylerinde, öğütme için gerekli enerji maliyetlerinin kömür nemi ile ilişkisi ortaya konmuştur. Kömürün açık havada kurutulmasında ise kömürün nem içeriğinin, hava neminin, hava sıcaklığının ve güneş enerjisinin etkili olduğu saptanmıştır. Havanın bulutsuz ve hava neminin az olduğu durumda aynı miktar numunede farklı oranlarda nem azaldığı bunun da gelen güneş enerjisinin gücü ve aylara göre geliş açısı ile değiştiği görülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda, kurutmaya bağlı ısı değer artışı ve öğütme masraflarında azalma olduğu hesaplanmıştır.

Buna göre, tüvenan halde %16,1 nem içeren Manisa-Soma bölgesi kömürlerinin %8,4 oranında nem kaybederek havada kuru baza geçmesi durumunda %5,65 oranında, kuru baza geçmesi durumunda ise %9,89 oranında öğütme maliyetinin azalacağı hesaplanmıştır.

-20+8 mm tane boyut aralığına sınıflandırılmış halde %12,57 nem içeren numunelerinin 16.07.2015 tarihinde, 09:00-12:30, 12:30-16:00 ve 16:00-19:30 saatleri arasında ayrı ayrı yapılan açık havada kurutma deneyleri sonucunda elde edilen ürünlerin ise sırası ile %7,04, %7,99 ve %5,03 öğütme maliyetlerinin azalacağı hesaplanmıştır. Yine 20.09.2015 tarihinde 09:00-12:30, 12:30-16:00 ve 16:00-19:30 saatleri arasında ayrı ayrı yapılan açık havada kurutma deneyleri sonucu elde edilen ürünlerin sırası ile %2,89, %5,54 ve %2,33 öğütme maliyetlerinin azalacağı hesaplanmıştır. Elde edilen değerlere bakıldığında sadece öğütme için kullanılan enerji maliyetinden elde edilecek kar için düşük gözükken bu değerler, kömürün ısı değerinin artması, buna bağlı olarak öğütme sistemlerinde yaşanabilecek tıkanma ve aksaklıkların önlenmesi, santrallerde kullanılması durumunda daha az yakıtla aynı enerji üretimi gibi faydaları göz önüne alındığında %15-40 oranında bir maliyet avantajı getirebileceği söylenebilir.

Çalışma kapsamında yapılan piyasa araştırmasında Türkiye’de kömür kurutma

için genellikle döner kurutucuların kullanıldığı görülmüştür. Genellikle 20-30 t/h kömür kurutma kapasitesine sahip bu döner kurutucular ile %7-14 nem uzaklaştırılabilmektedir. Böyle bir kurutucunun kurulum maliyetinin 300.000-400.000 \$ arasında değiştiği anlaşılmıştır. Kömür kurutmak için ortalama 3.000.000 kcal ısı elde edilebilecek ocağa (cehennemlik) sahip döner kurutucularda genellikle 1.000–1.500 kcal/kg’lık ısı değerli toz kömür kullanılmaktadır. Bu da saatte 2-3 t kömür tüketilmesi anlamına gelmektedir. Güneş enerjisinden pasif olarak yararlanmanın, diğer kurutma yöntemleri ile karşılaştırıldığında en büyük avantajı enerji tüketim maliyetinin olmamasıdır.

Türkiye’nin enerjide dışa bağımlılığını azaltabilmesi için başta kendi yeraltı kaynaklarını değerlendirmesi, sonra da yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmaya ağırlık vermesi gerekmektedir.

Kömür kullanan termik santrallerimizin verimliliklerinin artışı için kurutma yapılarak kömürlerin beslenmesi önerilmektedir.

Çalışmanın devamı için farklı bölgelerden farklı nem içeriğine sahip kömür numuneleri alınarak, yıl boyunca farklı aylarda deneyler yapılması güneş enerjisi ve hava verilerinin öğütme enerji maliyetlerine etkisi incelenmelidir. Elde edilecek veriler güneş enerjisi ile kurutma yapabilecek cihazların tasarımlarında kullanılabilecektir.

#### KAYNAKLAR

- Agus, F., Waters, P. L., 1971. Determination of the Grindability of Coal, Shale and Other Minerals, by a Modified Hardgrove Machine Method, *Fuel*, 50, p. 405 – 431.
- Astm D 4239 “Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Combustion and Infrared Absorption”.
- Astm D 5373 “Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal and Coke”.
- Astm D 5865 “Gross Calorific Value of Coal and Coke”.
- Astm D 409/D409M-12, “Standard test method for grindability of coal by the hardgrove machine method”.
- Ateşok, G., Atak S., 1991. Kömürün Susuzlandırılması, *Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri I Bildiriler Kitabı*, Yurt

- Madencilikini Geliştirme Vakfı Yayınları, 1991, Sf:92-115.
- Ateşok, G., Kangal M. O., 2012. *Susuzlandırma ve Kurutma*, Yurt Madencilikini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul- 2012, 128 sf., ISBN:978-975-7946-37-3.
- Bond, F. C., 1954, Crushing and Grinding Calculations, *CIM Bulletin*, Vol. 47, No 507, p. 466 -472
- Bond, F. C., 1961-a. Crushing and Grinding Calculations, Part I, *British Chemical Engineering*, Vol.6, No.6, pp:378-385, June, 1961.
- Bond, F. C., 1961-b. Crushing and Grinding Calculations, Part II, *British Chemical Engineering*, Vol.6, No.8, pp:543-548, August, 1961.
- Brown P. M., Scheiner, B. J., 1983. *Dewatering of Coal-Clay Waste Slurries From Preparation Plants*, Bureau of Mines Report of Investigations – 8824, 13 p., USA.
- Bullinger, C., Ness, M., Sarunac, N., Levy, E. K., 2002. Coal Drying Improves Performance And Reduces Emissions, *27th International technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems*, Clearwater, Florida, March, 2002.
- Chandralal, N., Mahapatra, D., Shome, D., Dasgupta, P., 2014. Behaviour of Low Rank High Moisture Coal in Large Stockpile Under Ambient Conditions, *American International Journal of Research in Formal, Applied & Natural Sciences*, 6(1), March-May 2014, pp., 19-26, ISSN: 2328-3777.
- Demir, İ., 2009. *Kömür Hazırlama Teknikleri Kullanılarak Türkiye'deki Kömürlerin İz Element İçerikleri Açısından Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2009.
- Demir, İ., 2016. *Güneş Enerjisiyle Çalışan Bir Sistem Tasarlanarak Kömürlerin Kurutulması Ve Kalitelerinin Arttırılması*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 256 s.
- Hand, P. E., 2000. *Dewatering and drying of fine coal to a saleable product*, Coaltech task 4.8.1, March, 2000, 65p.
- İpekoğlu, Ü., 1994. *Susuzlaştırma, Cevher Hazırlama El Kitabı*, Bölüm 15, s. 389-423.
- Jangam, S. V., Kuma, J. V. M., Mujumdar, A. S., (ed: Jangam S.V. and Mujumdar, A.S.), 2010. *Critical Assessment of Drying of Low Rank Coal, Coal Dehydration*, 2010.
- Kural, O., (ed.), 1991. *Kömür*, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul, Şubat 1991, 986 s.
- Kural, O., (ed.), 1998. *Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri*, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul, 785 s.
- Küçükbayrak, S., Kadioğlu, E., Kemal, M., (ed:Kural, O.) 1991. *Kömürün Fiziksel ve Diğer Bazı Teknolojik Özellikleri, Kömür*, Bölüm 3, Kurtiş Matbaası, İstanbul, 1991.
- Lucarelli, B., 2008. Benefits Of Drying Indonesian Low Rank Coals, *Cleaner Coal Workshop* 19-21 August 2008, Ha Long City, Vietnam.
- Miller, B. G., 2010. *Clean Coal Engineering Technology*, Elsevier, ISBN: 978-1-85617-710-8, 680 p.
- Özdoğan, S.; Polat, M.; Çelik, M. S., (ed:Kural, O.), 1998. *Kömürün Susuzlaştırılması ve Kurutulması, Kömür*, Bölüm 18, s. 297-315.
- Pikon', J., Mujumdar, A., S., (ed:Mujumdar, A.S.), 2006. *Drying of Coal, Handbook of Industrial Drying*, Third Edition, CRC Press 2006, ISBN: 978-1-57444-668-5, DOI: 10.1201/9781420017618.ch43.
- Speight, J. G., 2005. *Handbook of Coal Analysis*, John Wiley & Sons, ISBN:0-471-52273-2.
- Su, O., Akçın, N. A., Toroğlu, İ., 2004. *Kömürün Öğütülebilirliği ile Dayanım ve İndeks Özellikleri Arasındaki İlişkiler, Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, sf:77-86, 02-04 Haziran 2004 Zonguldak, Türkiye
- Szwilski, A. B., 1985. Relation Between The Structural and Physical Properties of Coal, *Mining Science and Technology*, vol.2, Amsterdam, pp. 181-189.
- Tichánek, F., 2008. Contribution to Determination of Coal Grindability Using Hardgrove Method, *GeoScience Engineering*, Vol.54, No.1, p. 27-32, 2008, ISSN 1802-5420, Ostrava Czech Republic.
- Tokgöz, N., 2012. *Tunçbilek Havzası Kömürlerinin Termik Santrallerde Kullanımının 3e (Enerji-Ekonomi-Ekoloji) Denge Yaklaşımına Göre Sürdürülebilirlik Analizi, Enerjide Sürdürülebilir Gelişimi ile Tunçbilek Havzası Kömürleri, Tunçbilek Belediyesi Yayın No:11, Yok., Ed., Anıt Matbaa, Ankara, ss.114-148, Ekim, 2012, ISBN: 978-605-87210-6-7.*
- Ts 690 Iso 589/Mart 2002. *Taş Kömürü Toplam Rutubet Tayini*, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- Ts 711 Iso 562, 2002, *Taş Kömürü ve Kok - Uçucu Madde Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- Ts Iso 1171+Tech Cor 1/Kasım 2006. *Katı Mineral Yakıtlar-Kül Miktarı Tayini*, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2006.
- Tuik, 2016. *Türkiye İstatistik Kurumu Resmi Web Sitesi*, <http://www.tuik.gov.tr/> Haber Bülteni, Sayı:21586, 29 Eylül 2016, [Ziyaret Tarihi: 02.11.2016].

# Tosya Linyit Kömürünün Borik Asit Liçi ile Demineralizasyonu

## *Demineralization of Tosya Lignite Coal with Boric Acid Leaching*

D. Uçkan, H. Hacifazlıoğlu

*İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

**ÖZET** Türkiye’de önemli miktarlarda üretimi olan borik asit temelde kolemanit mineralinden üretilmektedir. Borik asit, genellikle antiseptik, böcek ilacı ve koku gidericilerde kullanılan beyaz kristal renkli, suda  z nen zayıf bir asit tipidir. Kömürlerin içerisinde bulunan k l ve kükürdün liç yöntemi ile giderilmesinde genellikle hidroklorik asit, sülfürik asit, hidroflorek asit ve nitrik asit gibi asitler tercih edilmekte ancak bu asitlerin çok kuvvetli olması nedeni ile kullanılmasında çevresel yönden önemli sakıncalar ortaya çıkmaktadır. Buna bağlı olarak da, liç işleminde ekonomik olması koşulu ile zayıf asitler ön plana çıkmaktadır. Bu alışmada, Tosya linyit kömüründen k l ve kükürdün giderimi için borik asit liçi yapılmıştır. Ayrıca borik asit liinin verimliliğinin daha iyi saptanabilmesi için hidroflorek asit, hidroklorik asit ve sülfürik asit ile de ayrı ayrı deneyler yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Borik asit, kömürün külünü %14.62’den %8.6’ya, kükürdünü ise %8.77’den %5.95’e kadar d ş rm ştir.

**ABSTRACT** Boric acid, which is produced in significant quantities in Turkey, is primary produced from colemanite. Boric acid is a kind of weak inorganic acid which dissolves in water and it is crystal white colour and is used in germicides, insecticides and deodorisers. In the removal of ash and sulphur with leaching method, acids like hydrochloric acid, sulfuric acid, hydrofluoric acid and nitric acid are generally preferred. Yet, there are some important environmental inconveniences as they are extremely strong. In this framework, preferred weak acids because of the economics conditions for leaching. In the scope of this research, leaching experiments were conducted with boric acid on the removal of ash and sulphur from Kastamonu-Tosya lignite coal. Apart from that, to determine the efficiency of the leaching with boric acid, a leaching experiment was conducted with hydrofluoric acid, hydrochloric acid, sulfuric acid and the results were compared. Boric acid, ash value in the coal was decreased from 14.62 % to 8.60% and the sulphur in the coal from 8.77% to 5.95%.

## 1 GİRİş

Türkiye, dünya kömür rezervinin %1’inden daha azına sahiptir. Ayrıca Türk kömürleri yüksek kül ve yüksek kükürt içeriğine sahip, düşük kalorifik değere sahip linyit k m rleridir. Ancak diğer taraftan, Türkiye bor minerali rezervi bakımından dünyada birinci sıradadır. Dünya’da ekonomik olarak işletilen bor rezervlerinin yaklaşık %73’  Türkiye’de yer alırken, yaklaşık %20 ‘si ABD, Rusya, Çin ve şili gibi ülkelerde yer

almaktadır. Dünya bor talebinin %50’si Türkiye tarafından karşılanmaktadır. Kolemanit,  leksit ve tinkal minerallerinden üretilen bor ürünleri tüm dünya ülkelerine ihraç edilmektedir. Türkiye’de üretilen en önemli bor ürünleri; borik asit, bor oksit, sodium perborate, borax pentahydrate ve borax decahydrate’dir. Borik asit temelde kolemanit minerali ile sülfürik asidin reaksiyona girmesi ile elde edilir. Literatürde borik asit, zayıf bir asit olduğu için liç reaktifi olarak hiç kullanılmamıştır. Ancak,

Türkiye'nin 2013 hedefleri doğrultusunda, borik asidin alternatif kullanım alanları araştırılmakta ve başta cam, deterjan ve seramik sanayisi olmak üzere pek çok alanda kullanımı yaygınlaştırılmaktadır.

Kömür yapısında bulunan kül ve kükürt istenmeyen safsızlıkların en başında gelir. Kömürün yakılmasından sonra yanmamış halde kalan maddelerden oluşan artığa 'kül' denir. Kül, kömürün ısı değerini düşürür, nakliye giderlerini arttırır. Kazanlarda curuf oluşumuna ve fazla miktarda partikül salınımına neden olur. Kömürlerin kül ve kükürt içeriği, teknolojik uygulamalarda, yüksek verim ve kaliteli ürün eldesi açısından önemli bir parametredir. Yakma, briketleme, koklaştırma, gazlaştırma, düşük sıcaklık karbonizasyonu ve sıvılaştırma gibi kömür değerlendirme işlemlerinin öngördüğü kül ve kükürt sınırlamaları farklıdır. Örneğin, koklaştırılacak kömürün kül içeriği %10'un altında, kükürt içeriği ise %2'nin altında olmalıdır. Kükürt yanabilir olduğundan kömürün ısı değerini olumsuz yönde etkilemez ancak yüksek kükürtlü kömürlerin yakılması sonucunda atmosferdeki kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) emisyonlarının artması, asit yağmurlarına neden olur ve bu durum çevre ve insan sağlığı ciddi şekilde etkiler. Kükürt, metalurjide kullanılan kokun kalitesini de düşürmektedir. Bunun dışında fazla kükürt oranı yakma sistemlerinde korozyon meydana getirir. Genel olarak linyitler %0.3-6 aralığında, taş kömürleri ise %0.6-3 aralığında kükürt içermektedir. Ancak, kükürt içeriği %6'ın üzerinde olan kömürlerde mevcuttur (Ateşok, 2004; Özdoğan ve Ünver, 1998). Kömürdeki kükürt; organik ve inorganik olmak üzere başlıca iki formda bulunmaktadır. İnorganik kükürt kömürde; "sülfat", "piritik" ve "elementer kükürt" olarak bulunur. Organik kükürt, kömürde hidrokarbon yapıya bağlı olarak bulunan kükürttür. Bu nedenle, kömürden fiziksel yöntemlerle (ağır ortam, spiral, masa, flotasyon, aglomerasyon vb.) uzaklaştırılması mümkün değildir. Organik kükürt yalnızca kimyasal ve biyolojik yöntemlerle giderilebilmektedir (Jorjani et al., 2004; Bilir, 1993). Fiziksel zenginleştirme yöntemleri ile kömürdeki kükürt miktarı yalnızca bünyedeki organik kükürt seviyesine kadar inebilmektedir (Hacıfazlıoğlu, 2009). Sülfat kükürdü ise, kömürde toplam kükürdün çok az bir kısmını oluşturur ve Jips halinde bulunduğu gibi,

kömürün hava ile uzun süre teması sonucu FeSO<sub>4</sub> formunda da bulunabilir. Sülfat kükürdü suda kolay çözünebildiğinden fiziksel yöntemlerle kömürden uzaklaştırılması oldukça kolaydır. Jips suda çözünmeyen bir bileşiktir, ancak yanma işleminde kolay bozulmadığı için hava kirliliği açısından önemli bir problem oluşturmaz (Kawatra and Eisele, 1997; Yaman vd., 1998; Demirbaş, 2002; Abdollahy et al., 2006). Elementer kükürt ise kömür içerisindeki oranının oldukça düşük (<%0.2) olması nedeni ile genellikle zenginleştirme işlemlerinde ihmal edilmektedir (Yıldız, 2007).

Kömürün inorganik kısmını oluşturan kül, "bünye külü" ve "serbest kül" olarak başlıca iki tiptedir. Bünye külü kömürdeki toplam külün %2-3'ünü oluşturur ve kaynağı kömürü oluşturan bitkilerden gelen inorganik maddelerdir. Bünye külü kömür içinde mikroskobik parçacıklar halinde bulunduğu için sadece kimyasal ve fizikokimyasal yöntemlerle giderilebilir. Serbest kül ise, üretim esnasında ya da kömürün oluşumu sırasında kömüre karışan kil, şist, kumtaşı, kireçtaşı gibi inorganik maddelerdir. Serbest kül çoğu zaman jig ve ağır ortam tamburu gibi gravite yöntemleri ile kolaylıkla giderilebilmektedir. İnce kömürlerden külün giderilmesinde ise spiraller veya flotasyon makinaları tercih edilmektedir. Falkon, Knelson ve Kelsey jigi gibi ileri teknoloji gravite ayırıcıları kömürdeki kül ve kükürdü uzaklaştırmada etkili olsa bile gerek kurulum maliyeti gerek işletim zorluğu bakımından ülkemizde kullanımı yaygınlaşmamıştır. Bitümlü ince (toz) kömürlerin temizlenmesinde ise genellikle köpük flotasyonu en yaygın kullanılan yöntemdir. Klasik flotasyon tekniğinde, kükürdün hidrofobik olması nedeni ile kömürle birlikte yüzmesi engellenememektedir. Ancak, gelişmiş flotasyon teknikleri yalnızca piritik ve sülfat kükürdünü belli oranda giderebilmektedir (Lai, 2002; Li et al., 2003; Honaker ve Das, 2004; Hacıfazlıoğlu, 2009).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan, yoğunluğa ve yüzey özelliğine göre yapılan zenginleştirme işlemlerinde kül belli ölçüde uzaklaştırılabilmekte, ancak kükürt içeriğinde önemli bir düşüş sağlanamamaktadır (Tosun, 1994). Fiziksel yöntemlerin kükürt gideriminde başarısız olmasından dolayı diğer alternatif yöntemler



önemli hale gelmektedir. Biyolojik yöntemler ile zenginleştirme, kömür içerisindeki piritik ve organik kükürtün mikroorganizmalar yardımı ile oksitlenip suda çözünebilen sülfatlara dönüşmesi temeline dayanmaktadır (Doğan ve Çelik., 1992). Bu nedenle bakteriyel yöntemler ile kömürlerin kükürtsüzleştirilmesi için laboratuvar ölçekli, uzun süreli araştırmalardan pilot ve tesis ölçeğine getirilmesi pratik ve ekonomik olmamıştır. (Tosun, 1995; Tosun 1997; Sönmez, 2000). Buna bağlı olarak kükürt gidermede en etkili ve uygulanabilir yöntemi olarak “kimyasal temizleme” yani “liç” işlemi görülmektedir.

Özellikle deneysel çalışmalarda kömürün içerdiği safsızlıkların azaltılmasında yaygın olarak hidroflorik asit, nitrik asit ve sodyum hidroksit kullanılmaktadır. Asit liçinde kömürlerin külü yüksek oranlarda giderilebilmesine rağmen kömürlerin ancak sülfat ve piritik kükürdü giderilebilmektedir. Araştırmacıların uyguladığı bir asit liçi işleminde piritik kükürdün tamamının ve toplam kükürdün ise maksimum %80'inin çözülebildiği belirlenmiştir (Meyers, 1973; Tosun, 1997). 1980'li yıllarda geliştirilmiş olan, erimiş kostik liç (MCL) prosesinde ise, kömür yatay döner fırın içerisinde 350-400 °C civarında ergimiş kostik soda (KOH+NaOH karışımı) ile muamele edilmekte ve bu yolla mineral madde ve kükürtler suda veya asitte çözünebilen bileşikler haline dönüştürülmektedir. Bu yolla %4 kükürt, %11 kül içeren bir kömürden %0.4 kükürt ve %0.65 kül içeriğinde süper temiz kömürler elde edilebilmektedir (Toroğlu vd., 2004).

Borik asit, Türkiye'de geniş rezervlere sahip bir bor minerali olan kolemanitten üretilmektedir. Son yıllarda, Türkiye'de borik asidin alternatif kullanım alanları üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, yüksek kül ve kükürt içerikli Tosya kömürünün demineralizasyonu için bir liç reaktif olarak borik asit kullanılmıştır. Borik asidin mineral madde çözme başarısının tam tespiti için önce borik asitle bir dizi liç deneyleri yapılmış, daha sonra hidroflorik asit, hidroklorik asit ve sülfürik asit gibi güçlü asitlerle mineral madde giderme çalışmaları yapılmıştır.

## 2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Kömür Örneğine Ait Özellikler

Deneylerde kullanılan kömür numunesi Kastamonu ili, Tosya ilçesinde faaliyet gösteren özel bir şirkete ait yer altı linyit işletmesinden alınmıştır. İşletmede numune -5mm'nin altına kırıldıktan sonra kapalı kaplarla İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiştir. Söz konusu numunenin kimyasal analizi sonucunda kömür örneği %14.62 kül, %8.77 kükürt, %48.53 sabit karbon, %36.85 uçucu madde ve 6200 kcal üst ısıl değer içerdiği tespit edilmiştir.

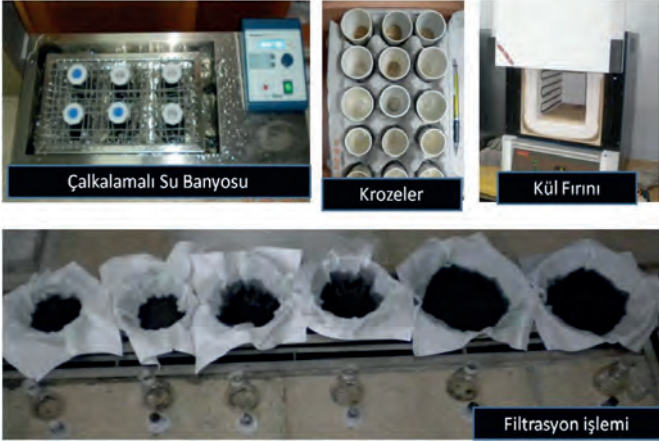
### 2.2. Deneylerde İzlenen Yöntem

Yukarıda kimyasal analiz sonuçları verilen kurutulmuş kömür numunesi çubuklu değirmende 15 dakika öğütülerek tamamı 106 mikronun altına incek şekilde öğütülüp elenmiştir. Liç deneylerinde kullanılan numune -106 mikron tane boyutundadır. Liç asidi olarak analitik saflıkta sırasıyla katı formda toz borik asit (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), hidroklorik asit (HCL), sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ve Hidroflorik asit (HF) 125, 250, 500 ve 750 kg/t mertebelerinde kullanılmıştır. Bu asitlerin liç çözeltisindeki konsantrasyon değerleri sırasıyla %2.45, %4.76, %9,09 ve %13.04'tür. Katı oranı %20 olarak belirlenen deneylerde, farklı sıcaklıklarda (20,40,60 ve 80 °C) ve farklı liç sürelerinde (60, 120, 240 ve 360 dk) her bir asit tipi için ayrı ayrı deneyler yürütülmüştür. Deneylerin tamamı Şekil 1'de gösterilen ve farklı sıcaklık değerlerinde çalışabilen çalkalamalı su banyosu içerisinde yapılmıştır. Su banyosu içerisine yerleştirilen 250cc'lik erlenler içerisine su, kömür ve asit ilave edilerek, 250 rpm çalkalama hızında deneyler yürütülmüştür. Çalkalama sonrasında elde edilen liç çözeltisi filtre edilerek kurutulduktan sonra kül ve kükürt analizine tabi tutulmuştur. Kül analizi Muffle fırın içerisine yerleştirilen porselen krozleler ile gravimetrik yöntemle ASTM D5152'ye göre yapılmıştır. Kükürt analizleri ise İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde bulunan LECO cihazında ASTM D2013'e göre yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan ekipmanlar Şekil 1'de gösterilmiştir. Kül ve kükürt giderim verimlerinin hesaplanması için aşağıdaki eşitliklerden faydalanılmıştır:

Beslenen kömürün külü (%) = Af, Ürünün külü (%) = Ac ise; Kül Giderimi (%) =  $[Af - Ac] * 100 / (Af)$  olarak,

Beslenen kömürün kükürdü (%) = Sf, Ürünün kükürdü (%) = Sc ise; Kükürt Giderimi (%) =  $[Sf - Sc] * 100 / (Sf)$  eşitliği ile hesaplanmıştır.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan ekipmanlar

### 3 DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 3.1 Asit Tipi ve Miktarının Demineralizasyona Etkisi

Optimum asit tipi ve miktarının araştırıldığı deneylerde, sırası ile borik asit, hidroklorik asit, sülfürik asit ve hidroflorik asit ile farklı asit konsantrasyonlarında ayrı ayrı deneyler yapılmıştır. Liç sıcaklığı 60 °C, liç süresi 120 dakika alınarak sırası ile 125, 250, 500 ve 750 kg/t mertebelerinde asit ilave edilerek deneyler yürütülmüştür. Deneylerden elde edilen ürünlerin kül ve kükürt içerikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu bağlamda Çizelge 2'de liç sonucunda elde edilen kül ve kükürt giderim verimleri gösterilmiştir.

Çizelge 1'deki verilerden görülebileceği üzere, en yüksek kül giderimi Hidroflorik ile, 500 kg/t asit ilavesinde elde edilmiştir. Hidroflorik asit ile kömürdeki kül değeri %14.62'den %5.43'e düşmüştür. Borik asit ile yapılan liç deneylerinde ise üründeki en

düşük kül içeriği %12.10 bulunmuştur. Hidroklorik asit ve sülfürik asit için üründeki en düşük kül değerleri sırasıyla %10.67 ve %12.15'dir. Borik asit miktarının 500 kg/t'dan 750kg/t'a çıkarılması durumunda ürünün külü besleme külünden daha yüksek bulunmuştur. Bunun muhtemel nedeni 60 °C 'de toz halde bulunan borik asidin su içerisinde yeterince çözünmemiş olmasıdır. Bu durumda ya asit konsantrasyonu azaltılmalı ya da sıcaklık artırılmalıdır. Çizelge 1'deki kükürt değerleri incelendiğinde yine en düşük kükürtlü ürün (%5.18) Hidroflorik asit ile elde edilmiştir. Borik asit, kükürt değerini %8.77'den %6.16'ya düşürmüştür. Diğer asit tipleri ise üründeki kükürt içeriği bakımından borik asit ile yaklaşık olarak benzer sonuçlar vermiştir.

#### 3.2 Liç Sıcaklığının Demineralizasyona Etkisi

Bir önceki deneyden de görülebileceği gibi her bir asit tipi için optimum konsantrasyon değeri 500 kg/t'dur. Daha yüksek konsantrasyonlarda verim çok fazla değişmemekle birlikte bazı durumlarda verim düşmektedir. Asit sarfiyatı da göz önüne alınarak optimum asit ilavesi 500 kg/t olarak belirlenmiştir. Optimum asit miktarında 20, 40, 60 ve 80 °C'de 120 dakikalık deneyler yapılarak liç sıcaklığının kül ve kükürt giderimine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, farklı sıcaklıklardaki su ile asitsiz deneyler yapılmış ve kül-kükürt gideriminde sıcak suyun etkinliği araştırılmıştır. Liç sıcaklığına bağlı olarak elde edilen ürünlerin kül-kükürt değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 4'te ise kül ve kükürt giderme verimleri gösterilmiştir.

Çizelge 3'deki verilerden görülebileceği üzere, liç sıcaklığı arttıkça elde edilen ürünlerin kül ve kükürt içerikleri azalmıştır. Sadece su ile (asit ilavesiz) yapılan deneylerde sıcaklık arttıkça kül %13.27'ye kadar, kükürt %6.52'ye kadar düşmüştür. Bu sonuçlara göre sıcak su tek başına Tosya kömürünün külünde %10'a, kükürdünde %25'e varan oranlarda iyileşme sağlayabilmektedir. En yüksek sıcaklık değerinde (80 °C) en iyi sonucu veren hidroflorik asit ile %4.29 kül ve %5.02 kükürt içeren kömür elde edilmiştir. Borik asit ise kömürün külünü 80 °C 'de %10.92'ye, kükürdünü %6.10'a düşürmüştür.

### 3.3 Liç Süresinin Demineralizasyona Etkisi

Liç süresinin kül ve kükürt giderimine etkisini araştırmak amacıyla her bir asit tipi ile 500 kg/t asit miktarında 80 °C'de sırasıyla 60, 120, 240 ve 360 dakika sürelerde ayrı ayrı liç deneyleri yapılmıştır. Liç süresine bağlı olarak elde edilen ürünlerin kül-kükürt değerleri Çizelge 5'te verilmiştir. Ek olarak Çizelge 6'da kül ve kükürt giderme verimleri gösterilmiştir.

Çizelge 5'ten görülebileceği gibi, liç süresi arttıkça ürünün kül değeri azalmıştır. Optimum koşullarda ve liç süresinin 360 dk olması durumunda, Borik asit, sülfürik asit, hidroklorik asit ve hidroflorik asitleri ile sırasıyla %8.6, %8.32, %7.12 ve %3.02 küllü ürünler elde edilmiştir. Ürünlerdeki kükürt değerleri ise her bir asit tipi için sırasıyla %5.95, %5.90, %5.34 ve %4.27 olarak bulunmuştur. Buna göre, kül ve kükürdü gidermede en güçlü asit hidroflorik asit olarak görünmektedir. Hidroflorik asidi ile kül %80'e varan oranlarda giderilebilmektedir. Borik asit ise kül gideriminde ancak %41'lik bir verim sağlayabilmiştir. Hidroklorik ve sülfürik asidin kül giderme verimleri ise %40-50 aralığında değişmektedir. Hidroklorik asidin kükürt giderme verimi %51.31 iken, borik asidin kükürt giderme verimi %32.16'dır. Kükürt gideriminde sülfürik asit, borik asit ile hemen hemen benzer sonuç vermişken hidroklorik asit ile kükürt giderimi %39.11 bulunmuştur.

### 3.4 Borik Asidin Demineralizasyondaki Etkinliği

Literatürde zayıf bir asit olan borik asit ile kömürden kül ve kükürdün giderilmesi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma kapsamında, kül ve kükürt gideriminde borik asit kullanılmıştır. Deneysel çalışmaların sonuçlarından da görülebileceği üzere, özellikle düşük sıcaklıklarda (20 ve 40 °C) ürün kül değerleri besleme kül değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni, düşük sıcaklıklarda borik asidin yeterince çözünmemesi ve filtrasyon esnasında filtre üzerinde kömürle birlikte kalarak içeriğindeki bor bileşiklerinden dolayı kül

oluşturmuş olmasıdır. Saf su içerisine ilave edilen 750 kg/t mertebesindeki (%13.04 konsantrasyon değerindeki) borik asit ile 20, 40, 60 ve 80 °C'de yapılmış olan borik asit çözündürme deneylerinin fotoğrafları Şekil 2'de görülmektedir. Bu fotoğraflardan da görülebileceği üzere, borik asit özellikle 20 ve 40 °C 'de çok az çözünmüştür. 60 °C sıcaklıkta borik asidin yaklaşık %90'ı çözünmüşken, ancak 80 °C'de tamamı çözünebilmiştir. Ayrıca, kömürle birlikte yapılan liç deneyleri sırasında borik asidin yeterince çözünüp-çözünmediğinin tespiti için pH ölçümleri yapılmıştır. Farklı sıcaklık ve borik asit konsantrasyonlarında yapılan pH ölçümleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3'ten görülebileceği üzere, sıcaklık arttıkça pH değeri düşmekte (borik asit çözünmekte) ve ortamın asitliği yükselmektedir. Farklı borik asit konsantrasyonları için 20 °C sıcaklıkta çözeltinin pH değeri 3-3.5 arasında değişmekte iken, sıcaklığın 80 °C olması durumunda pH değeri 1.5'in altına kadar düşmüştür. Bu durum özellikle kül ve kükürt giderimi üzerine etkili olmuş ve sıcaklık arttıkça kül ve kükürt giderimi artmıştır.

Sonuç olarak, borik asit uygun miktarlarda ve uygun liç sıcaklık değerlerinde kullanılmak koşulu ile kömürden kül ve kükürdün giderilmesinde kullanılabilecek alternatif bir asit olarak gözükmektedir.

Çizelge 1. Farklı asit konsantrasyonlarının üründeki kül ve kükürt içeriğine etkisi

Asit Miktarı (kg/t)	Asit Tipi							
	Borik Asit		Hidroklorik Asit		Sülfürik Asit		Hidroflorik Asit	
	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)
125	14.10	7.08	12.84	6.55	14.29	6.80	11.06	6.77
250	13.50	6.80	11.65	6.58	13.9	6.60	9.69	6.42
500	12.10	6.16	10.67	6.53	12.15	6.12	5.43	5.18
750	17.80	6.20	14.5	6.76	14.03	6.25	9.66	5.2
Toplam	14.62	8.77	14.62	8.77	14.62	8.77	14.62	8.77

Çizelge 2. Farklı asit konsantrasyonlarının üründeki kül ve kükürt giderim verimine etkisi

Asit Miktarı (kg/t)	Asit Tipi							
	Borik Asit		Hidroklorik Asit		Sülfürik Asit		Hidroflorik Asit	
	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)
	Giderim (%)	Giderim (%)	Giderim (%)	Giderim (%)	Giderim (%)	Giderim (%)	Giderim (%)	Giderim (%)
125	3.55	19.27	12.17	25.31	2.25	22.46	24.35	22.80
250	7.66	22.46	20.31	24.97	4.92	24.74	33.72	26.79
500	17.23	29.76	27.01	25.54	16.89	30.21	62.85	40.93
750	-21.75	29.30	0.82	22.91	4.03	28.73	33.92	40.70

Çizelge 4. Liç sıcaklığının üründeki kül ve kükürt giderim verimi

Liç Sıcaklığı (°C)	Asit Tipi									
	Yalnızca Su		Borik Asit		Hidroklorik Asit		Sülfürik Asit		Hidroflorik Asit	
	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)
20	0.13	21.32	-19.22	6.15	3.21	24.51	3.28	19.04	33.72	25.88
40	4.24	24.51	-1.91	11.63	20.45	25.31	10.94	27.48	55.88	33.86
60	5.26	25.08	17.23	29.76	27.01	25.54	16.55	30.21	62.85	40.93
80	9.23	25.65	25.30	30.44	45.55	33.75	19.63	30.44	70.65	42.75

Çizelge 3. Liç sıcaklığının üründeki kül ve kükürt içeriğine etkisi

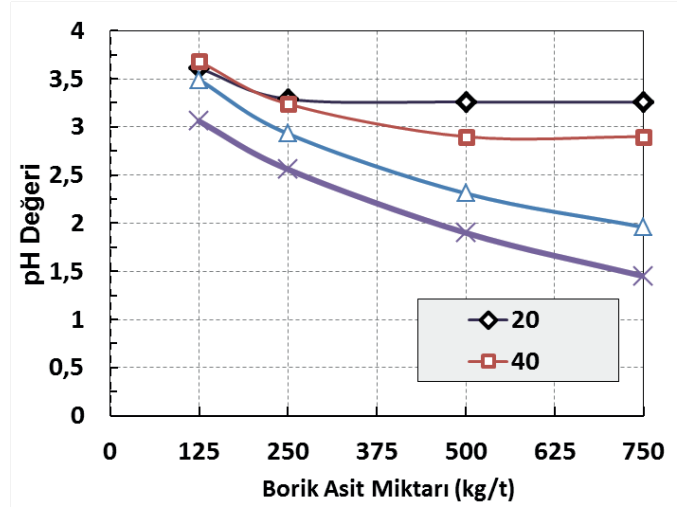
Liç Sıcaklığı (°C)	Asit Tipi									
	Yalnızca Su		Borik Asit		Hidroklorik Asit		Sülfürik Asit		Hidroflorik Asit	
	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)
20	14.60	6.90	17.43	8.23	14.15	6.62	14.14	7.10	9.69	6.50
40	14.00	6.62	14.90	7.75	11.63	6.55	13.02	6.36	6.45	5.80
60	13.85	6.57	12.10	6.16	10.67	6.53	12.15	6.12	5.43	5.18
80	13.27	6.52	10.92	6.10	7.96	5.81	11.75	6.10	4.29	5.02
Toplam	14.62	8.77	14.62	8.77	14.62	8.77	14.62	8.77	14.62	8.77

Çizelge 5: Liç süresinin üründeki kül ve kükürt içeriğine etkisi

Liç Süresi (dk)	Asit Tipi							
	Borik Asit		Hidroklorik Asit		Sülfürik Asit		Hidroflorik Asit	
	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Kükürt (%)
60	14.00	7.12	13.29	6.46	13.34	6.96	5.44	6.09
120	10.92	6.10	7.96	5.81	11.75	6.10	4.29	5.02
240	9.74	5.98	7.53	5.47	9.69	5.90	3.47	4.46
360	8.60	5.95	7.12	5.34	8.32	5.90	3.02	4.27
Toplam	14.62	8.77	14.62	8.77	14.62	8.77	14.62	8.77

Çizelge 6: Liç süresinin üründeki kül ve kükürt giderim verimi

Liç Süresi (dk)	Kullanılan Asit Tipleri							
	Borik Asit		Hidroklorik Asit		Sülfürik Asit		Hidroflorik Asit	
	Kül	Kükürt	Kül	Kükürt	Kül	Kükürt	Kül	Kükürt
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
60	4.24	18.81	9.09	26.33	8.75	23.71	62.79	30.55
120	25.30	30.44	45.55	33.75	19.63	30.44	70.65	42.75
240	33.37	31.81	48.49	37.62	33.72	32.72	76.26	49.14
360	41.17	32.15	51.29	39.11	43.09	32.72	79.34	51.31

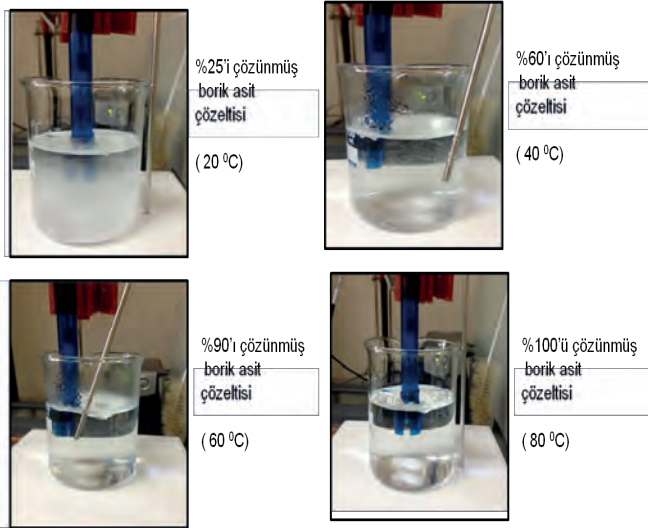


Şekil 3. Borik asit konsantrasyonuna bağlı olarak farklı sıcaklıklarda pH profilleri

#### 4 SONUÇLAR

Yüksek kükürlü Tosya (Kastamonu) linyit kömüründen liç yöntemi ile kül ve kükürdün giderimi için bu çalışmada borik asit kullanılmış ve elde edilen demineralizasyon sonuçları hidroklorik, sülfürik ve hidroflorik asit gibi diğer kuvvetli asitler ile karşılaştırılmıştır. -106 mikron tane boyutundaki kömüre uygulanan liç işlemi sonucunda aşağıdaki verilere ulaşılmıştır:

Borik asidin zayıf bir asit olması nedeni ile hidroflorik asit kadar iyi bir sonuç vermemiştir. Borik asit en iyi koşulda kömürün külünü %8.6'ya, kükürdünü %5.95'e düşürmüştür. Borik asidin kül giderim verimi %41.18, kükürt giderim verimi ise %32.16 bulunmuştur. Hidroflorik asit ise kömürün külünü %14.62'den %3.02'ye, kükürdünü ise %8.77'den %4.27'ye düşürmüştür. Hidroflorik asit ile kül giderim verimi %79.34, kükürt giderim verimi ise %51.31 bulunmuştur. Diğer taraftan liç çözeltisine ilave edilen asit miktarı arttıkça kül ve kükürt giderimi de artmaktadır.



Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda (20, 40, 60 ve 80 °C)'de borik asidin çözünme fotoğrafları

Ancak 500 kg/t asit miktarının üzerinde verim çok fazla değişmemekte ve çoğu zaman düşmektedir. Bu bakımdan tüm asitler için optimum miktar 500 kg/t olarak belirlenmiştir. Bu miktar liç çözeltisinde %9.09 asit konsantrasyonu değerine tekabül etmektedir.

Liç sıcaklığı çözünme verimi üzerinde etkili olan diğer bir önemli parametre olup, sıcaklık arttıkça hem asit çözünürlüğü hem de kömürdeki inorganik bileşiklerin çözünürlüğü artmakta ve bunun sonucunda kömürün demineralizasyonu da artmaktadır. Örneğin hidroflorik asit ile liçte, sıcaklığın 20 °C'den 80 °C 'ye çıkarılması durumunda, elde edilen kömürün kül değeri %9.67'den %4.29'a düşmüştür. Liç sıcaklığı, her asit tipi için verimde ortalama %10 ile %30 arasında değişen bir iyileşme sağlamıştır.

Liç süresinin arttırılması da kömürün demineralizasyonuna olumlu etki yapmıştır. Örneğin borik asit ile 60 dk liç sonucunda kömürün külü %14 olurken, 360 dk sonunda kömürün külü %8.6'ya düşmüştür. Asit kullanmadan yapılan çalışmalar sonucunda kömürünün külünde ve kükürdünde sadece sıcak su ile iyileşmeler sağlanabileceği görülmüştür. Öyle ki, sıcak (80 °C) su ile 360 dk liç sonucunda kül %14.62'den %13.27'ye, kükürt ise %8.77'den %6.52'ye kadar düşmüştür.

Sonuç olarak, zayıf bir asit olan borik asitle kükürt giderimi diğer asitlerle rekabet edebilecek durumda iken, kül giderimi bakımından diğer asitlere göre daha düşük performans göstermiştir. Örneğin, sülfürik asitin kükürt giderimi %32.73 iken, borik asitin kükürt giderimi %32.16 bulunmuştur. Hidroflorik ve hidroklorik asidin kükürt giderim değerleri sırasıyla %51.31 ve %39.11 bulunmuştur.

## KAYNAKLAR

Toraman, Ö.Y., Depçi, T. 2007; "Kömürde mikrodalga ile önışlem uygulamaları", Madencilik, Vol.46, No.3, pp 43-53.

Rowson, N.A. ve Rice, N., 1990; "Desulphurisation of Coal Using Low Power Microwave Energy", Minerals Engineering, 3, 3/4, 363-368.

Hayashi, J.I., 1990; "The Role of Microwave Irradiation in Coal Desulphurisation With Molten Caustics", Fuel, 69, (6), 739-742.

Tosun Y.İ., 1995; Kömürün Ergiyik Kostik Liçi ile Kükürtsüzleştirilmesi, Mühendislikte 20 Yıl Sempozyumu, Zonguldak, MAD 14.

Tosun, Y.İ., Çiçek, F., Çekirge M.H., 1997; "Ergiyik Kostik Liç Yöntemi İle Kömürlerin Kükürtsüzleştirilmesi", Madencilik, Vol.36, No.4, pp.5-9.

Toroğlu, İ., Kizgut,S., Çuhadaroğlu, D., Pilevneli, C., 2004; "Kömür Teknolojisindeki gelişmeler; Dünyada ve Türkiye' de kömür kalitesini arttırıcı uygulamalar", Kömür ve Enerji Semineri, 5-6 Mart 2004, Ankara

Meyers, R.A., 1973; Removal of Pyritic Sulfur from Coal Using Solutions Containing Ferrous Ions, U.S. Patent 3768988

Uslu, T. ve Atalay, U. (2003 ) Microwave heating of coal for enhanced magnetic removal of pyrite, Fuel Processing Technology, Vol. 85, pp. 21-29.

Eker, Y., 2007; "Kömürdeki Piritik Kükürdün Giderilmesinde Çeşitli Yöntemlerin Kıyaslanması", Bilim Uzmanlığı Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Zonguldak, p.87.

Elsamak, G. (1999) Mikrodalga Enerjisinin Kömür Reaksiyonlarındaki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi (yayımlanmamış) Hacettepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Ankara, 167 s.

Elsamak, G., Öztaş, A. N. and Yürüm, Y. (2003) Chemical Desulphurisation of Turkish Cayırhan Lignite with HI using microwave and thermal energy, Fuel, Vol.82, pp.531-537.

Jorjani, E., Rezai, B., Vossoughi, M. and Osanloo, M. (2004 ) Desulphurization of Tabas Coal with Microwave Irradiation/Peroxy Acedic Acid Washing at 25, 55 and 85 oC Fuel, Vol. 83, pp. 943-949.

Honaker, R.Q. ve Das, A., 2004; “Ultrafine coal cleaning using a centrifugal fluidized-bed separator”, *Coal Preparation*, 24, 1-18.

Hacifazlıoğlu, H., 2009; “İnce boyutlu kömürlerin temizlenmesi için yeni bir flotasyon makinesinin (siklojet Hücresinin) geliştirilmesi”, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği ABD, Zonguldak, Doktora Tezi, s.220.

Kawatra, S.K. ve Eisele, T.C., 1997; “Pyrite recovery mechanisms in coal flotation”, *Int. Jour. of Mineral Processing*, 50, 187-201.

# Mermer Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Malzemenin Çimento İçerisinde Doğal Zeolit ile Birlikte Kullanılmasının Çimento Üzerindeki Etkileri

## *The Effects Of Utilization Of Waste Material Generated During Marble Production With Natural Zeolite Within Cement*

A.V. Korkmaz

*Çimsa Çimento Sanayi A.Ş., Afyon*

**ÖZET** Çimento dünyada en çok tüketilen malzemelerden birisi olup, yapı sektörünün temel bileşenidir. Çimento üretimi yoğun enerji gerektiren bir süreçtir. Bu nedenle son yıllarda çimento klinkerine öğütme aşamasında çeşitli katkı malzemeleri eklenmektedir. Bu tez çalışmasında, mermer üretiminde ortaya çıkan katı atıkların çimento içerisinde doğal zeolit ile birlikte katkı maddesi olarak değerlendirilmesi ele alınmıştır. Çimento üretim maliyetlerini düşürmeye yönelik ve mermer endüstri atıklarının çevreye verdiği zararı önlemek amacıyla bir araştırma yapılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda mermer atığı katkılı çimentolar ve doğal zeolit katkılı çimentolar üretilmiştir. Üretilen çimentoların yoğunluk, çimento inceliği, priz süreleri, su içeriği, hacim genişmesi, 1, 2, 7 ve 28, günlük ortalama basınç dayanımları deneyleri yapılmıştır. Üretilen katkılı çimentoların fiziksel ve kimyasal özellikleri portland çimentosuyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel veriler ışığında söz konusu mermer atığı ve doğal zeolitin çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılmaya uygun oldukları belirlenmiştir.

**ABSTRACT** Cement, which is one of the world's most widely consumed materials, is a core component of the construction sector. Day by day, the necessity for consuming the cement is increasing depends on the growing population and construction industry. Cement production is a process that requires intense energy. For this reason, in recent years, various additives are added to the cement clinker in grinding stage. In this study, Utilization of marble wastes which are generated during marble production as an additive with natural zeolite within cement was discussed. This study was carried out to find out the possibilities of reduction of cement production costs and minimizing the impact of marble industry wastes on environment.

For this purpose, marble waste blended cements and natural zeolite blended cements were produced. Density, cement fineness, setting times, water content, volume expansion, 1, 2, 7 and 28 days of average compressive strength tests of the produced cement were carried out. Physical and chemical properties of the produced blended cements were compared with Portland cement. In the light of obtained experimental data, it was determined that blended cements can be produced by 20 % marble waste with 20 % natural zeolite replacement by clinker.



## 1 GİRİŞ

Yirminci Yüzyıl teknolojisinin giderek artan hammadde gereksiniminin en çok yansıdığı alan endüstriyel hammaddeler olmuştur. Bunlar içinde ise yoğun araştırmaların yapıldığı ve en çok zincirleme buluşların birbirini izlediği hammaddelerden biri zeolitlerdir. Zeolitler kristal yapıları ve kimyasal özellikleri nedeni ile günümüz endüstrisinin yeri tutulmaz hammaddeleridir [1].

Türkiye, her ne kadar özellikle Batı Anadolu Bölgesi'nde zengin zeolit yataklarına sahip ise de zeolit endüstriyel kullanımı henüz tam olarak geliştirilememiştir. Son yıllarda Türkiye'de zeolit kullanımı daha çok atık suların sertliğinin giderilmesi ve zirai amaçlar üzerine yoğunlaşmıştır [2].

Afyon bölgesi mermercilik sektörü açısından önemli bir konuma sahiptir. İl genelinde 400 civarında mermer işleme fabrikası bulunmaktadır. Bu işletmelerde üretim ve imalat sonrası pek çok mermer atığı açığa çıkmaktadır. Bu miktar, kesilen blok miktarının yaklaşık %30'u kadardır. Aynı zamanda atık malzemeler çevre kirliliğine de sebep olmaktadır. Atık malzemelerin değerlendirilmesi konusunda farklı çalışmaların sürdürüldüğü yapılan literatür araştırmasından bilinmektedir [3].

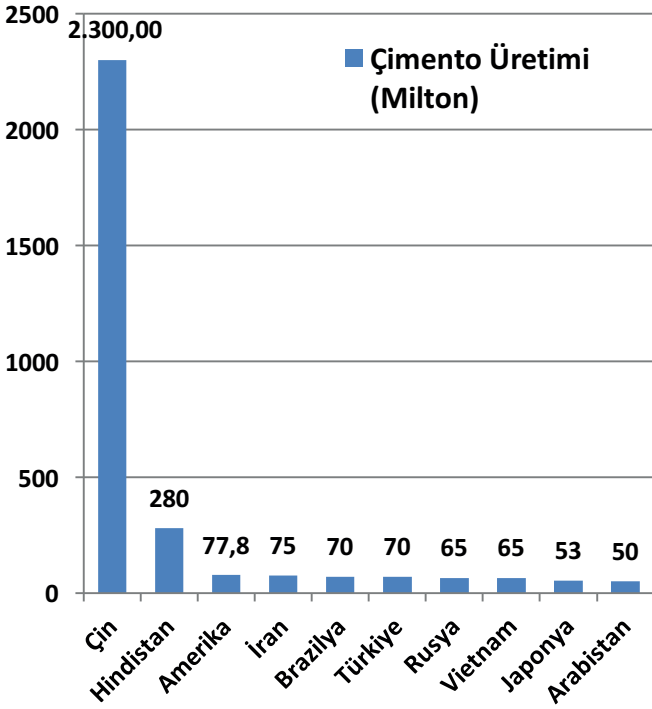
Bu çalışmalara göre, kırma taş tesislerinde taşların kırılması sonucunda açığa çıkan ve taş unu adı verilen ince malzemenin beton karışımına %14 oranında ince agrega olarak katılması ile üretilen numuneler üzerinde yapılan deneylere göre betonun basınç dayanımı normal betonun özelliklerine yakın sonuçlar verdiği vurgulanmaktadır [4].

Çimento, çağımızda kullanılan temel inşaat malzemelerinin en önemlilerinden biridir. İnsanoğlunun geçmişte en fazla kullandığı ve gelecekte de en fazla kullanacağı yapı malzemesi olarak görülmektedir. Ülkemizin hemen hemen bütün bölgelerinde, çimento yapımına elverişli hammadde bulmak mümkündür.

Türkiye'nin jeolojik yapısı buna uygundur. Özellikle kalker sahaları ülkemizde yaygın olarak bulunmaktadır [5]. Türk çimento sektörü, 1911 yılında 20.000 ton/yıl kapasiteli bir fırınla Darıca'da üretime başlamıştır. Daha sonra bu fabrika 1923 yılında tevsi edilerek kapasitesi 40.000 ton/yıl'a yükseltilmiştir. 1950'li yıllara kadar Ankara, Zeytinburnu (İstanbul), Kartal (İstanbul) ve Sivas'ta 4 yeni fabrika kurulmuş ve toplam kapasite 370.000 ton/yıl'a ulaşmıştır. 1950'den sonra Türkiye Çimento Sanayisi T.A.Ş.'nin (ÇİSAN) kurulmasıyla üretim artışı sağlanmasına rağmen 1970'lere dek talebin yeterli derecede karşılanamaması nedeniyle çimento ithalatı devam etmiştir. Günümüzde sektör,

hammadde konusunda tamamen kendi kaynaklarını kullanmakta olup, üretimiyle ülke ihtiyacını karşılayabilmektedir. İthalattaki payı az olan çimento sektörü, ihracattaki payını her geçen gün arttırmakta ve dünyanın 90 ülkesine satış yapmaktadır. İhracatın büyük bölümü Rusya, Irak, Suriye ve İtalya'ya yapılmaktadır. Mevcut durumda, yurtiçi talebi karşılamakta sıkıntı çekmeyen, bunun yanı sıra ihracatını yaklaşık yüzde 150 oranlarında artıran sektör Avrupa'nın en büyük çimento ihracatçısı konumuna gelmiştir. Dünya pazarına bakıldığında 2011 yılında üretim 3,3 milyar tona ulaşmış olup, Çin 2.063 milyon ton üretim miktarı ile dünya çimento üretimindeki lider konumunu sürdürmektedir. Çin'i sırasıyla 223 milyon ton üretim ile Hindistan, 195 milyon ton üretim ile AB üyesi ülkeler, 67 milyon ton ile ABD, 63 milyon ton ile Brezilya ve Türkiye takip etmektedir [6]. 2013 yılında Türkiye'nin çimento üretimindeki artışı devam ederek 70 milyon tona ulaşmıştır. Şekil 1.1'de 2016 yılı dünya çimento üretimi ülkeler bazında verilmiştir.

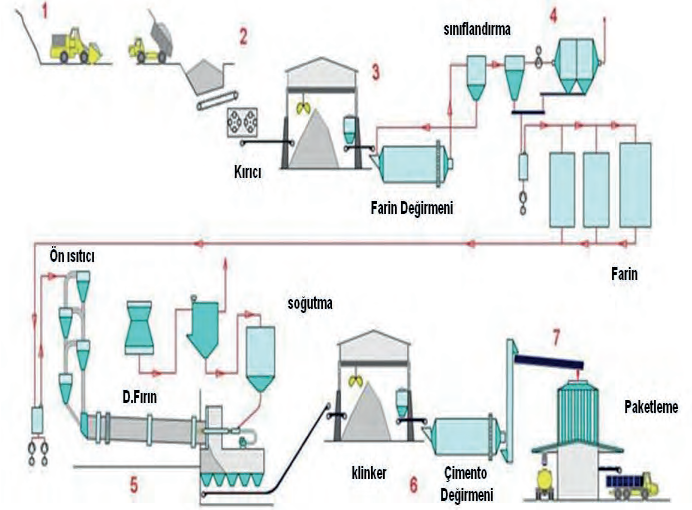
2016 yılı itibariyle, Türk Çimento sektöründe 48 adet entegre tesis, 20 adet öğütme-paketleme tesisi olmak üzere toplam 68 çimento fabrikası bulunmaktadır [6]. Üretimin büyük kısmı 6 firma tarafından gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1.1 2016 yılı ülkeler bazında çimento üretimi

### 1.1 Çimento Üretim Yöntemi

Çimento başlıca silisyum, kalsiyum, alüminyum ve demir oksitlerini ihtiva eden hammaddeleri karıştırılarak sinterleşme sıcaklığına kadar pişirilmesi ile elde edilen "klinkerin" bir veya daha fazla cins katkı maddesi (alçıtaşı, traş, cüruf vb.) ile öğütülmesi suretiyle elde edilen bir hidrolik bağlayıcıdır. Hidrolik bağlayıcı maddeler, su ile reaksiyonu sonucu sert bir kütle oluşturduktan sonra su içerisinde dağılmayan, sertliğini ve mukavemetini muhafaza eden veya artıran bağlayıcı maddelerdir. Çimento üretiminde kullanılan ana hammaddeler jeolojide sedimenter kayalar olarak bilinen kireçtaşı, kil ve marndır. Klinker üretiminin ana bileşenleri olan CaO için kalker (kireçtaşı); SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için de kil mineralleri temel kaynaklardır. Marn gibi bu dört oksiti bünyesinde bulunduran diğer malzemeler de çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Çimento üretiminin genel akım şeması Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Çimento üretim yönteminin genel akım şeması

Şekil 1.2' den takip edileceği üzere, çimento üretiminde kullanılan hammaddeler, hammadde ocaklarından genellikle sert oldukları için patlayıcı maddeler yardımıyla çıkarılır ve yükleyici iş makineleri ile nakil araçlarına yüklenerek kırılmak üzere konkasörlere taşınır (1). Hammaddeler, konkasörlerde kırıldıktan sonra stokholde stoklanır (2). Gezer vinçler yardımıyla stokholden alınan hammaddeler belli oranlarda karıştırılarak farin değirmenlerine alınarak öğütülürler (3). "Farin" adını alan karışım pişirilmek üzere hazır olarak farin stoklarında stoklanır (4). Ön ısıtıcılardan geçirilerek döner fırına sevk edilen farin yaklaşık 1400-1450 derece sıcaklıkta pişirilir (5). Döner fırından klinker olarak çıkan yarı mamül ürün soğutucuda soğutulur klinker stokholünde stoklanır. Alçıtaşı ve üretilecek çimento cinsine uygun katkılarla (Cüruf, kül vb. gibi) çimento değirmenlerinde öğütülür (6). Çimento cinslerine göre ayrı ayrı silolarda stoklanan çimento, torbalı ve dökme çimento olarak satışa sunulur (7). Genel olarak çimento üretiminde, maliyetin % 9'u hammadde, %21'i elektrik, %38'i yakıt, %9'u işçilik ve %7'si amortismandır. Geri kalan maliyetler ise %16'lık paya sahip olup, diğer sabit giderleri oluşturmaktadır [7,8].

## 2 MATERYAL VE METOT

### 2.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Çimento karışımlarının hazırlanmasında Portland çimentosu klinkeri, alçıtaşı (Yıldızeli), mermer fabrikası atığı (Afyon), Doğal zeolit (Nevşehir), standart kum ve su kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kum standart kumdur. Kimyasal madde olarak dilyum tetraborat (merck), lityum iyodür (merck), etilen glikol (merck), HCl (merck)  $\text{Ca(OH)}_2$  ve  $\text{CaCO}_3$  kullanılmıştır. Gerek kimyasal deney sonuçları gerekse mekanik dayanım, malzemenin ilgili standarda (TS 25) öngörülen sınırların üzerinde uygunluk gösterdiğini kanıtlamaktadır.

#### 2.1.1 Portland çimentosu klinkeri

Çalışmalarda kullanılan Portland çimentosu klinkeri, Çimsa Afyon San. ve Tic. A.Ş. Afyon fabrikasından temin edilmiş olup XRF; (Atomika teknik panalytical axios modeli) metoduyla kimyasal analizi yapılarak deneylerde bu klinker kullanılmıştır. Kullanılan klinkerin özgül kütlesi  $3,17 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Klinker numunesinin kimyasal analiz sonucu tablo 2.1' de verilmiştir.

#### 2.1.2 Alçıtaşı

Kullanılan alçıtaşı Adoçim Çimento San. ve Tic. A.Ş. Tokat fabrikasından temin edilmiş olup, kimyasal analizi XRF cihazı ile yapılarak kristal suyu miktarı belirlenmiştir. Alçıtaşı numunesinin kimyasal analiz sonucu tablo 2.2' de verilmiştir.

#### 2.1.3 Doğal Zeolit

Kullanılan doğal zeolit malzemesi Nevşehir'de bulunan zeolit ocaklarından sağlanmıştır. Buradan sağlanan klinoptilolit formundaki doğal zeolit, elek altında kalan kırma atığı malzemedan alınmıştır.

Deneylerde kullanılan doğal zeolit kimyasal ve fiziksel analizleri yapılarak özellikleri belirlenmiştir. Doğal zeolit

numunesinin kimyasal ve fiziksel analiz sonucu Tablo 2.3' de verilmiştir.

#### 2.1.4 Mermer Atığı

Kullanılan mermer atığı katkısı Afyon Mermer fabrikalarının ocaklarının atık sahalarından sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan mermer atığının kimyasal ve fiziksel analizleri yapılarak özellikleri belirlenmiştir. Mermer atığı numunesinin kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablo 2.4' de verilmiştir.

**Tablo 2.1** Klinker numunesi kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

	Klinker	TS10156
$\text{SiO}_2$	20,83	-
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5,24	-
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,77	-
CaO	66,83	-
MgO	1,2	< 5,0
$\text{Na}_2\text{O}$	0,39	< 3,50
$\text{K}_2\text{O}$	0,84	-
$\text{SO}_3$	0,61	-
KK	0,28	-
Fiziksel Özellikler		
40 $\mu$ elekte kalan	24,3	-
90 $\mu\text{m}$ elekte kalan	2,1	<14,0
200 $\mu\text{m}$ elekte kalan	0,3	< 1,0
Özgül ağırlık ( $\text{g/cm}^3$ )	3,18	-
Çimento Dayanımları		
2 günlük dayanım	25,1	
7 günlük dayanım	36,5	
28 günlük dayanım	48,6	

**Tablo 2.2** Alçıtaşı numunesi kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

Alçıtaşı	%
SiO <sub>2</sub>	0,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,13
CaO	33,71
MgO	0,78
Na <sub>2</sub> O	0
K <sub>2</sub> O	0,03
SO <sub>3</sub>	41,58
KK	22,39
Blaine (cm <sup>2</sup> /gr)	10440

**Tablo 2.3** Doğal zeolit numunesi kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

	Doğal Zeolit	TS 10156
SiO <sub>2</sub>	62,96	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,61	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,72	-
CaO	3,8	-
MgO	1,05	< 5,0
Na <sub>2</sub> O	0,22	< 3,50
K <sub>2</sub> O	3,77	-
SO <sub>3</sub>	0,25	-
KK	14,62	-
Fiziksel Özellikler		
S+A+F	76,29	-
Puzolanik Aktivite (N/mm <sup>2</sup> )	7,1	<14,0
Rutubet	2,6	< 1,0
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2,18	-

**Tablo 2.4** Mermer atık numunesinin kimyasal ve fiziksel analiz sonucu tablosu

Kimyasal Analiz	Numune Adı
(Bileşenler)	Mermer Atığı (% Ağırlıkça )
SiO <sub>2</sub>	0,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,56
CaO	53,5
MgO	0,49
Na <sub>2</sub> O	0
K <sub>2</sub> O	0,03
SO <sub>3</sub>	0,04
KK	42,6

#### Fiziksel Özellikler

Blaine(Yüzey alanı)	15440
Öğütme Zamanı ( dakika)	45
40 µ elek üstü	13
90 µ elek üstü	0,1
200 µ elek üstü	0,1

### 2.2. Çimentoların harç üretimi kür koşulları ve kodları

On iki farklı tipte harçlar ile çimento üretilmiştir. Harçlar TSE 24' e göre 4\*4\*16 cm lik kalıplarda 1 gün bekletilmiş ve 27 gün su içinde tutulmuştur. Harçlar oluştururken tüm harçlarda % 5 alçıtaşı kullanılmıştır.

**Tablo 2.5** Mermer atığı katkılı çimentolar ve kodları

Çimentonun cinsi	Çimentonun kodu
Portland çimentosu	PÇ
% 5 Mermer atığı	MAKÇ-5
% 10 Mermer atığı	MAKÇ-10
% 15 Mermer atığı	MAKÇ-15
% 20 Mermer atığı	MAKÇ-20

**Tablo 2.6** Doğal zeolit katkılı çimentolar ve kodları

Çimentonun cinsi	Çimentonun kodu
Portland çimentosu	PÇ
% 5 Doğal zeolit	DZKÇ-5
% 10 Doğal zeolit	DZKÇ-10
% 15 Doğal zeolit	DZKÇ-15
% 20 Doğal zeolit	DZKÇ-20

**Tablo 2.7** Mermer atığı ve Doğal zeolit Katkılı Çimentolar ve Kodları

Çimentonun cinsi	Çimentonun kodu
Portland çimentosu	PÇ
% 5 Mermer atığı; % 5 Doğal zeolit	MADZKÇ-5
% 10 Mermer atığı; % 5 Doğal zeolit	MADZKÇ-10
% 15 Mermer atığı; % 5 Doğal zeolit	MADZKÇ-15
% 20 Mermer atığı; % 5 Doğal zeolit	MADZKÇ-20

**Tablo 2.8** Mermer atığı katkılı çimento fiziksel analiz sonucu tablosu

Çimento	İncelik %			Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)
	40 µelek üstü	90 µelek üstü	200 µelek üstü	
MAKÇ-5	9,2	0,8	0	3436
MAKÇ-10	11,9	0,9	0,1	3579
MAKÇ-15	13,4	1,2	0,2	3723
MAKÇ-20	14,1	1,6	0,2	3864

**Tablo 2.9** Doğal zeolit katkılı çimentolar fiziksel analiz sonucu tablosu

Çimento	İncelik %			Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)
	40 µelek üstü	90 µelek üstü	200 µelek üstü	
DZKÇ-5	5,7	0,4	0	4174
DZKÇ-10	6,9	0,4	0	4437
DZKÇ-15	7,4	0,5	0,1	4383
DZKÇ-20	9,8	0,7	0,1	4520

**Tablo 2.10** Mermer atığı ve doğal zeolit katkılı çimentolar fiziksel analiz sonucu tablosu

Çimento	İncelik %			Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)
	40 µelek üstü	90 µelek üstü	200 µelek üstü	
MADZKÇ-5	5,5	0,4	0	4061
MADZKÇ-10	6,3	0,5	0,1	4165
MADZKÇ-15	7,7	0,7	0,1	4388
MADZKÇ-20	9,8	0,7	0,2	4498

**Tablo 2.11** Mermer atığı katkıli çimentolar priz süreleri tablosu

Çimento	Normal Kıvam Suyu (%)	Priz Süresi (dakika: saniye)	
		Priz Başlangıcı	Priz Sonu
MAKÇ-5	28,8	175	270
MAKÇ-10	29,1	190	260
MAKÇ-15	31	215	310
MAKÇ-20	31,1	230	315

**Tablo 2.12** Doğal zeolit katkıli çimentolar priz süreleri tablosu

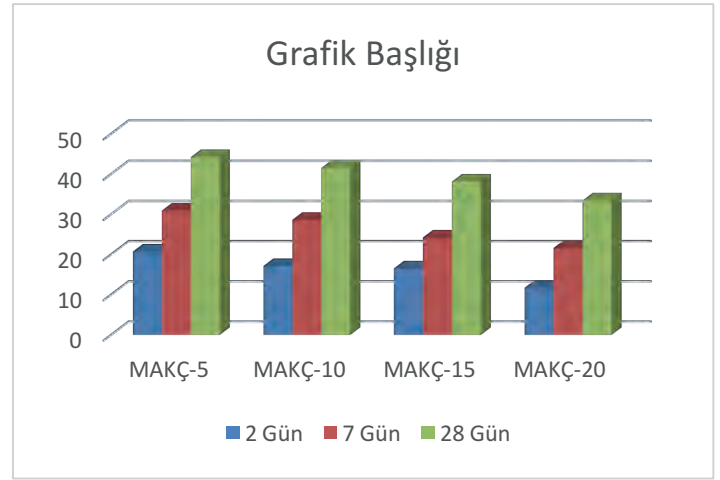
Çimento	Normal Kıvam Suyu (%)	Priz Süresi (dakika: saniye)	
		Priz Başlangıcı	Priz Sonu
DZKÇ-5	32	175	265
DZKÇ-10	31	180	250
DZKÇ-15	32	200	300
DZKÇ-20	32,6	215	310

**Tablo 2.13** Mermer atığı ve doğal zeolit katkıli çimentolar priz süreleri tablosu

Çimento	Normal Kıvam Suyu (%)	Priz Süresi (dakika: saniye)	
		Priz Başlangıcı	Priz Sonu
MADZKÇ-5	35,6	175	270
MAKÇ-10	41,6	190	260
MAKÇ-15	40	220	310
MAKÇ-20	40	230	315

**Tablo 2.14** Mermer atığı katkıli çimentolar basınç dayanımı tablosu

Çimento	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )		
	2 Gün	7 Gün	28 Gün
MAKÇ-5	20,7	30,9	44,2
MAKÇ-10	17,1	28,6	41,5
MAKÇ-15	16,5	24,2	38,1
MAKÇ-20	11,7	21,6	33,4



**Şekil 2.1** Mermer atığı katkıli çimentolar basınç dayanım eğrisi eğrisi

**Tablo 2.15** Doğal zeolit katkıli çimentolar basınç dayanımı tablosu

Çimento	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )		
	2 Gün	7 Gün	28 Gün
DZKÇ-5	17,7	31,9	46,2
DZKÇ-10	14,6	27	42,9
DZKÇ-15	11,7	22,2	37,1
DZKÇ-20	10,7	21,6	35,4

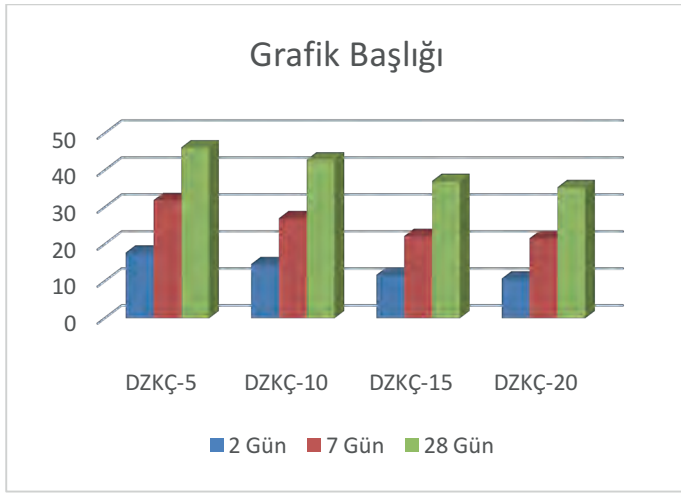
## SONUÇ

Mermer atıklarının ve doğal zeolit kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde içerdikleri MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O gibi oksitlerin aynı zamanda çimentonun ve çimento üretiminde kullanılan diğer katkı maddelerinin de bileşimini oluşturduğu gözlenmektedir. Bu bileşenlerin Portland çimentosuna ilave edildiğinde kalite değerlerinin azaldığı ancak sınır değerleri aşmadığı görülmüştür. Aynı şekilde klinker ve alçıtaşı kimyasal analiz sonuçlarının da verilen standartlara uygun olduğu saptanmıştır.

Portland Çimentosu klinkeri ile birlikte öğütülen atıkların katkı oranına paralel olarak (özgül yüzeyleri) ve portland çimentosuna nazaran ihtiyaç gösterdikleri su miktarı artmıştır. Artan su miktarına bağlı olarak da çimento karışımlarının priz süreleri gecikmiştir. Fakat bütün bu artış ve gecikmeler standartlarda verilen sınır değerler arasındadır. Hazırlanan çimentoların özgül ağırlık ve elek analizi sonuçları da Türk standartlarına uygunluk göstermektedir.

Mermer atığı katkılı çimento (MAKÇ) ve doğal zeolit katkılı çimento (DZKÇ) karışımlarının mukavemet sonuçlarına bakıldığında mermer atığı katkı oranı ve doğal zeolit katkı oranı arttıkça dayanımın azaldığı görülmüştür. Eğer gerekli miktar % 20 mermer atığı ve % 20 zeolit hammadde katkılı çimento ayarlamaları yapılırsa mermer atığı katkısının ve doğal zeolite katkısının katkılı çimentolarda etkin olabileceği görülebilir. Ayrıca mermer atıkları kullanıldığında çevreye verdikleri zararlar önlenecek ve ekonomimize yeniden kazandırılmış olacaktır.

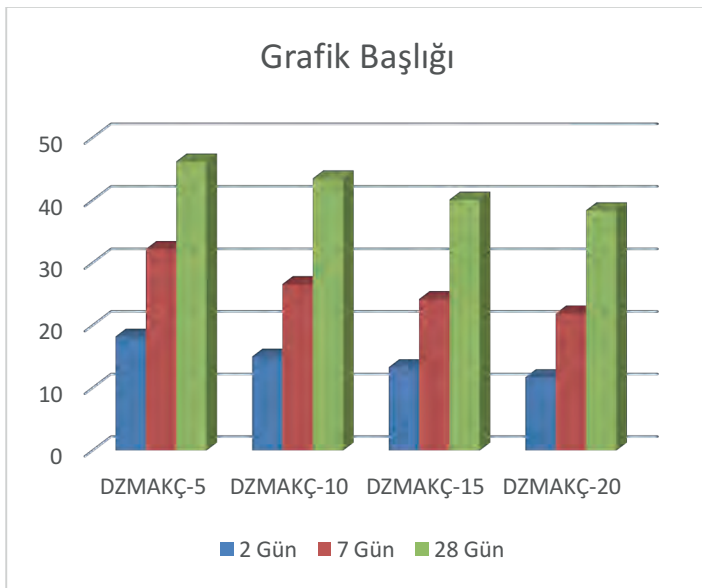
Hazırlanan çimento karışımlarının mukavemetleri kontrol numunesinden daha düşük çıkmıştır. Ancak sonuçlar TS'de verilen sınır değerler arasındadır. Mukavemet sonuçları öğütme süresi açısından değerlendirildiğinde normal Portland Çimentosu klinkerine göre daha kolay öğütüldüğünden öğütme süresi ve



**Şekil 2.2** Doğal zeolit katkılı çimentolar basınç dayanım eğrisi eğrisi

**Tablo 2.16** Mermer atığı ve doğal zeolit katkılı çimentolar basınç dayanımı tablosu

Çimento	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )		
	2 Gün	7 Gün	28 Gün
DZMAKÇ-5	18,2	32,2	46,2
DZMAKÇ-10	15,0	26,6	43,5
DZMAKÇ-15	13,3	24,2	40,1
DZMAKÇ-20	11,7	21,9	38,4



**Şekil 2.3** Doğal zeolit ve mermer atığı katkılı çimentolar basınç dayanım eğrisi eğrisi

enerji tüketimi açısından tasarruf sağlayacağı açıktır.

Bu çalışma kapsamında elde edilen en önemli sonuç, çimento katkı malzemesi olarak kullanılan doğal zeolit ve mermer atıkları ile üretilen katkılı çimentolar sayesinde, üretilmesi pahalıya mal olan bir yarı mamul olan klinkerin çimento içindeki oranının azaltılmasına bağlı olarak ekonomik açıdan avantaj sağlanabileceğidir. Bunun yanı sıra klinker üretimi için gerekli yakıttan da tasarruf sağlanacağı için CO<sub>2</sub> salınımı azaltılarak çevrenin korunmasına katkıda bulunmuş olunacaktır. En önemli konulardan bir diğeri ise bölgedeki doğal zeolit ve mermer atıklarının çok önemli bir sanayi kolunda değerlendirilebileceğinin tespit edilmiş olumasıdır.

## KAYNAKLAR

1. Baytin, G., Gökhan, Ç. (1979) Yapımda Endüstrileşme: Çimento I, Mimarlık Dergisi, Cilt.79, No.3, s.24-27.
2. Erdem, E., Donat, R. ve Çetişli, H., 1999, Hydration and mechanical properties of cement containing zeolite, Cement and Concrete World, 17, 22-28.
3. Yılmaz, Kemalettin.,Yapı Malzemesi Beton Tekno., 1988
4. Üğücü, Ramazan., Mermer Tozunun Beton Özelliklerine Etkisi. Mezuniyet Tezi, 2000
5. Baytin, G., Gökhan, Ç. (1979) Yapımda Endüstrileşme: Çimento I, Mimarlık Dergisi, Cilt.79, No.3, s.24-27.
6. TÇMB, (2014) Çimento Raporu, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği.
7. Kandemir, N., (1993). Pozzolanik Cement, Master Thesis, Middle East Technical University, Ankara, s.102.
8. Kaplan, H ve Binici, H. (1995) Tras ve Traslı Çimentolar, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt.2-3, s. 121-127



# ***POSTER SUNUMLAR***

# Vahap Özaltay Meydanı ve Çevresi Kesintisiz Karayolu Ulaşımının Sağlanması Projesi Kapsamında Zemin Dondurma Yöntemiyle Tünel Planlaması

## *Tunnel planning with Artificial Ground Freezing Method for the Nonstop Roadway Transportation at Vahap Özaltay Square and Surroundings*

C. O. Aksoy

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Buca-İzmir*

**ÖZET** Büyükşehirlerimizde, özellikle şehir merkezlerinde, her geçen gün trafik yükü artmaktadır. Yapılaşmanın yoğun olduğu bu merkezi lokasyonlarda, yeni güzergahlar oluşturacak boş alanlar maalesef mevcut değildir. Bu nedenle, karayolu ulaşımı ve diğer toplu ulaşım araçlarını yeraltına taşımak zorunluluk haline gelmiştir. Yoğun yapılaşmanın olduğu şehir merkezlerinde sığ tünel açmak oldukça risklidir. İzmir Büyükşehir Belediyesi, Vahap Özaltay Meydanı ve Çevresinde, trafik yükünü azaltmak ve kesintisiz karayolu ulaşımını sağlamak amacıyla bu bölgeyi tünel ile geçmeyi planlamıştır. Bu projede, zemini dondurarak tünel açma işleminin uygun olacağı belirlenmiştir. Bu bildirinin diğer bir önemi ise, Maden Mühendisliği Biliminin sadece tünel kazı ve desteklemesi ile değil, aynı zamanda, güzergahtaki zemin yapısının değerlendirilmesi, gerektiğinde yeni metodlar geliştirilmesi konusunda da yetkin olduğunu gösteren bir çalışmadır.

**ABSTRACT** In metropolitan cities, especially in city centers, the traffic load increases day by day. In these central locations where congestion is intense, free space that will create new routes are not available. For this reason, it has become a necessity to move the transportations which are roadway, railway anyothers, to underground. It is very risky to excavate shallow tunnels in city centers where there is heavy structure. İzmir Metropolitan Municipality planned to pass Vahap Özaltay Square and around in order to reduce the traffic load and to provide uninterrupted highway transportation via by tunnel. In this Project, it is determined that artificial ground freezing method is the most suitable method to excavate tunnel. Another highlight of this paper is that the Mining Engineering Science is not only related to about tunnel excavation and support but also related about evaluating the ground structure in the route and developing new methods when necessary.

## 1 GİRİŞ

Büyükşehirlerimizde her geçen gün trafikteki araç sayısı artmaktadır. Her ne kadar toplu ulaşımaya yönelik önemli projeler hayata geçirilse de günün belirli saatlerinde kent merkezlerinde aşırı yoğun trafikle karşılaşmaktadır. Trafik yükünün bu şekilde artması hem ülke ekonomisi için önemli bir çıktı oluşturmakta hem de kentte yaşayan insanlar için önemli zaman kayıplarına neden olmaktadır. İzmir

Büyükşehir Belediyesi, yukarıdaki kısa açıklamadan yola çıkarak İzmir İli, Konak İlçesinde, Vahap Özaltay Meydanında oluşan trafik yükünü alternatiflerle azaltma yoluna gitmektedir. Bu kapsamda, bahsi geçen bölgede değişik alternatifler oluşturulmak suretiyle bu çalışmanın yapılması planlanmaktadır. Tarafımızca, belirlenen güzergahın içerisinde, trafiğin yeraltına taşınması için uygulanacak inşaat yöntemi ve metodolojisi araştırılmıştır.

Literatürde; donma sırasındaki ısı parametreleri ve geoteknik parametrelerin değişimini içeren deneysel ve analitik modellemeler ile saha uygulamaları ile yapılan karşılaştırmalar mevcuttur. Duan ve Naterer (2010) tarafından yapılan çalışmada derin temeller için efektif ısı koruma teknikleri sunulmuştur. Li ve diğerleri (2006) tarafından yapılan çalışmada Guangzhou'da yapay zemin dondurma ile inşa edilen çift hatlı metro tüneli örnek alınmıştır. Isıl ve mekanik analiz için sayısal model önerilmiştir. Bu model ile 60, 50, 40 ve 30 günlük zemin ön dondurma süreleri için yüzey oturması hesaplanmış ve en fazla oturma kabul edilebilir sınır olan 30 mm'den az bulunmuştur. Yang ve diğerleri (2006) tarafından yapılan çalışmada zemin dondurma kullanılarak yeraltında oluşturulan galerinin kazı problemleri, önerilen modelle incelenmiştir. Saha ölçümleriyle sayısal yaklaşımlar karşılaştırılmıştır. Tünel üzerindeki zemin kalınlığı, donmuş duvar kalınlığı, kazı yarıçapı ve tuz çözeltisi sıcaklığının donma kabarmasına etkisi incelenmiştir. Eslami-nejad ve Bernier

(2012) tarafından yapılan çalışmada ise alternatif güneş enerjili ısı enjeksiyon metodu önerilmiştir. Metotta tek delikte çift U tipi bağımsız borulama sistemi ile dolaşım sağlanmaktadır. Akyurt ve diğerlerinin (2002) buz - su sistemlerinde donma felsefesinin araştırdığı çalışmada, katılma ve erime karakteristikleri incelenmiştir. Su, doğada ölçüm basıncının 0 bar olduğu durumda 0 °C civarında buza dönüşmektedir. Fakat basınç 600 bar civarına çıkarsa normal duruma göre yüksek basınç olarak adlandırılabilir bu değer yaklaşık -4 °C'de donmanın gerçekleştiği görülebilir.

## 2. GÜZERGAH

Trafik yoğunluğunun günün her saatinde fazla olduğu bir bölgede güzergah belirleme çalışmaları Eryol Mühendislik Müşavirlik Ticaret Limited Şirketi tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanının gösterildiği plan ve haritalar aşağıda Şekil 1'de verilmektedir.



**Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritaları ve planları**

Şekil 2'de görüldüğü üzere çalışma alanı Liman caddesinde başlamakta ve Vahap Özaltay Meydanında son bulmaktadır. Bu güzergah içerisinde trafiği yeraltına almak için yapılacak yeraltı yapısı için en önemli yerüstü yapısının Alsancak Tren İstasyonu

ve TCDD Bölge Müdürlüğü Binası olarak görülmektedir. Diğer bölümlerde yeraltı yapısı yol altına alınmak suretiyle binalardaki olası risklerin düşürüleceği düşünülmektedir.



**Şekil 2. Güzergahtaki yapıları gösterir Google görüntüsü**

Şekil 3'te ise güzergah üzerindeki alt yapılar görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi güzergah üzerinde çok yoğun bir alt yapı bulunmaktadır. Bu nedenle, yerüstünden yapılacak bir açık kazı alt yapı açısından beraberinde birçok problemi gündeme getirecek yoğun alt yapı deplasmanlarını gerektirecektir.



**Şekil 3. Güzergah üzerindeki alt yapının durumu**

## 2. GÜZERGAHTA YAPILAN JEOLJİK VE JEOTEKNİK ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından ZEM-SON Mühendislik Jeolojik Araştırma İnş. San. Tic. Ltd. Şti.'ne güzergah üzerinde jeolojik ve jeoteknik çalışmalar yaptırılmış ve hazırlanan rapor tarafımıza iletilmiştir. Rapor kapsamında, 11 adet jeoteknik sondaj (Şekil 4) ve 5 noktada Sismik Serim, 5

noktada MASW Serim ve 3 noktada Mikro Tremör (Şekil 6) çalışmaları yapılmıştır.



**Şekil 5. Jeoteknik sondaj noktaları**



**Şekil 6. Jeofizik çalışma noktaları**

Güzergah üzerindeki zemin yapısının, güzergaha bir yeraltı yapısının yapılması için oldukça olumsuz koşullar içerdiği görülmektedir.

Sıvılaşma, yeraltı suyu, zemin taşıma kapasitesi, zeminin yapısı, şişme özelliğine sahip zemin içermesi, zeminin genel olarak Geçirimli-Az Geçirimli olması, güzergaha yapılacak yeraltı yapısının inşaatı esnasında bir çok problemi bir arada getirecektir.

Güzergahtaki trafik yükü ve yapılaşma dikkate alındığında, zeminin sahip olduğu özellikleri kullanarak (herhangibir zemin iyileştirme işlemi uygulamadan) bir yeraltı yapısı inşa etmek, oldukça riskli gözükmektedir.

Tarafımızca yapılan değerlendirmede, zemin iyileştirme yöntemlerinden birisi uygulanmak suretiyle güzergah üzerinde, kesintisiz karayolu ulaşımını sağlayacak şekilde tünel açılmasının uygun olacağı görüşü ağırlık kazanmıştır.

Ancak, uygulanacak olan zemin iyileştirme metoduna da güzergahtaki zemin koşulları dikkate alınarak karar verilmesi gerekmektedir.

### **3. GÜZERGAHTAKİ YERALTI YAPISI İNŞAASININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Güzergah, İzmir'in Bornova ve Karşıyaka yönünden gelen trafiğin Alsancak merkaze aktarılmasında çok önemli bir yol olarak karşımıza çıkmaktadır. İzmir'in şu anki trafik yükü düşünüldüğünde bu güzergahın proje süresince kalpalı kalması diğer güzergahlarda aşırı yığılmalara neden olabilecektir.

Çalışma güzergahının kapatılması durumunda, mevcut karayolu altında geçecek bir yeraltı yapısı açık kazı ile yapılabilir. Ancak, bu durumda bile, zemin iyileştirme yöntemlerini uygulamak zorunlu olacaktır. Böylesi bir durumda, diyafram duvar tekniği ile açık kazı yapılabilir.

Güzergahın kapatılmasının söz konusu olmayacağı senaryo da ise, zemin iyileştirme metodu uygulanmak suretiyle tünel açarak, bu yeraltı yapısı imal edilebilir.

Zemin yapısı düşünüldüğünde, zemin iyileştirme yöntemi uygulamadan, TBM ile tünel açmak çok zor gözükmektedir. Yeraltı suyunun etkileri, zeminin doymuş olması ve zemin taşıma kapasitesinin çok düşük olmasından dolayı TBM'in batma ihtimali çok yüksektir. Böylesi bir durumda yeryüzünde yüksek oturmalar olacaktır. Bu durum, trafik açısından önemli riskleri beraberinde getirecektir. Diğer taraftan, zemin şişme potansiyeli yüksek mineraller içermektedir. Bu da TBM'in sıkışmasına neden olabilecektir. Böylesi bir durumda da kazıyı tamamlayabilmek için ek yeraltı açıklıkları açmak zorunda kalınabilir. Riskli

bir güzergahta, bu durum riskleri yükseltecektir.

Zemin iyileştirme metodu uygulanmadan konvansiyonel tünel açma yöntemlerinin uygulanması da aynı olumsuz durumları beraberinde getirecektir.

Yukarıda bahsedilen olumsuzluklar kapsamında, güzergahta yeraltı yapısının inşaa edilmesi için mutlak suretle zemin iyileştirme metodlarından uygun olanının uygulanması zorunlu gözükmektedir.

### **4. GÜZERGAHTA UYGULANMASI ÖNGÖRÜLEN ZEMİN İYİLEŞTİRME METODU VE TÜNEL AÇMA YÖNTEMİ**

Günümüzde, zayıf-çok zayıf zeminlerde yeraltı yapısı yapmak için birçok zemin iyileştirme metodu mevcuttur. Bunlardan başlıcaları çimento enjeksiyonu, kimyasal enjeksiyon, jet kolonları vb olarak sayılabilir.

Çalışma sahasında bu zemin iyileştirme metodlarının uygulanmasının bazı sakıncaları vardır. Yeraltı suyundan dolayı çimento enjeksiyonu yapılması çok zor görülmektedir. Zeminin geçirgen olması ve yeraltı suyu dinamiği, yapılan çimento enjeksiyonunun yıkanmasına neden olabilecektir. Kimyasal enjeksiyon ise hem çevresel hem de maliyet açısından olumsuz gözükmektedir. Yatay jet kolonlar oluşturmak ise, uygulanacak basınçtan dolayı yeryüzünde yapılara hasar verebilir.

Bu kapsamda düşünüldüğünde, ülkemizde henüz uygulanmamış olan Yapay Zemin Dondurma Yöntemi ile tüne açarak bu yapının inşasının en mantıklı yol olduğu düşünülmektedir.

#### **4.1. Yapay Zemin Dondurma Yöntemi**

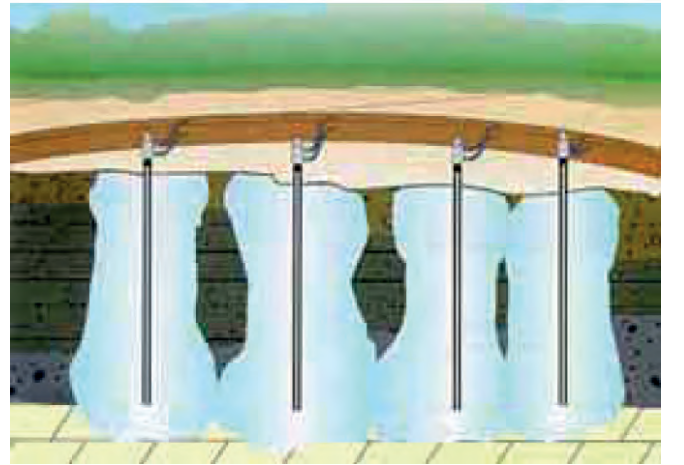
Yukarıda bahsedildiği üzere bir çok zemin iyileştirme yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan bazılarının karşılaştırması aşağıda Çizelge 1'de verilmektedir.

**Çizelge 1. Zemin iyileştirme yöntemlerinden bazılarının karşılaştırması**

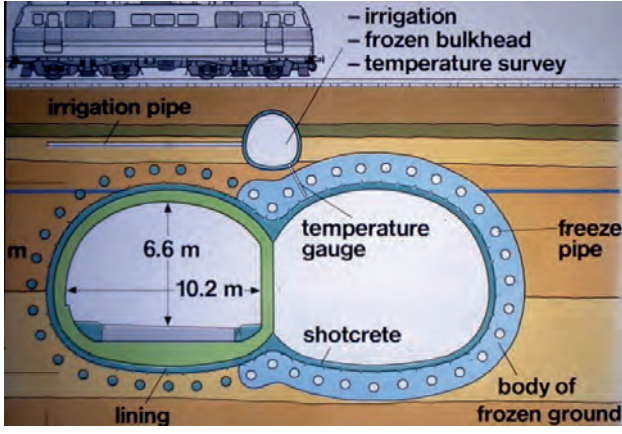
Özellik	Çimento Enjeksiyonu	Jet Enjeksiyonu	Yapay Zemin Dondurma
Dayanıklılık	Az miktarda gelişme	UCS de 2MPa ya kadar artış sağlar	UCS de 2 ila 3.5 Mpa arası artış sağlar
İstikrar	Çok yüksek oranda işçiliğe bağlıdır	Çok yüksek oranda işçiliğe bağlıdır	Yüksek kesinlik
Permabilite	$10^{-7}$ ile $10^{-8}$	$10^8$ ile $10^9$	Sızdırmaz
Çevresel etki	Enjeksiyon yüzünden potansiyel kirlenme	Enjeksiyon yüzünden potansiyel kirlenme	Az
Uygulanabildiği zeminler	Tanecikli zeminler	Kil ve siltli içeren zeminler	Bütün zeminlere uygulanabilir

İnşaat sektöründe iki yapay zemin dondurma metodu kullanılabilir. Bunlar, sıvı nitrojen ve tuzlu su. Tuzlu su kullanılarak zemin dondurma işlemi, sıvı azot kullanılan açık uçlu sistemle karşılaştırıldığında, kapalı bir sistemdir. Genellikle tuzlu su kullanılan sistem, endüstriyel soğutma tesislerinin kullanımını gerektirir. Başlatma kuyusunun bitişiğinde bulunan dondurma istasyonu, tünel bölümünde zeminin dondurulması için üç soğutma ünitesinden oluşur. Dondurma işlemi sırasında, soğutma ünitelerinden sadece iki tanesi görev yaparken, diğeri yedek görevi görür. İki yalıtılmış boru, dondurucu sıvının iletimi ve atımı için istasyon ile dondurulan zemin arasına yerleştirilir. T dirsekler donma noktasına giden ve dönen borulara yerleştirilirler ve bu dirsekler iki ya da üçlü donan boru görevi görür. Tipik olarak, soğutma sıvısı soğutma sisteminde -25C ve -40 ° C arasında değişen bir sıcaklığa kadar soğutulur. Sonra, desteklenmiş dondurulmuş bölgeye gönderilir ve dönüş borusuna dönen sıcak soğutma sıvısı kapalı bir devreyi oluşturularak, tekrar soğutulur. Donmuş boruda seyahat eden soğutulmuş soğutma sıvısı sürekli olarak zeminden ısı çeker ve bu durum gerekli sıcaklık ulaşıncaya kadar devam ettirilir. Yapay zemin dondurma yöntemiyle, dünyada bu güne kadar bir çok proje gerçekleştirilmiştir. Bunlarda bazıları

aşağıda Çizelge 2’de verilmektedir. Yapay zemin dondurma yöntemi ile tünel açma işleminde iki metoloji uygulanmaktadır. Bunlardan birincisi yeryüzünden düşey kuyular açılmak suretiyle yapılan zemin dondurma işidir (Şelik 7), diğeri ise yeraltından tünel cidarına yapılan uygulamadır (Şekil 8).

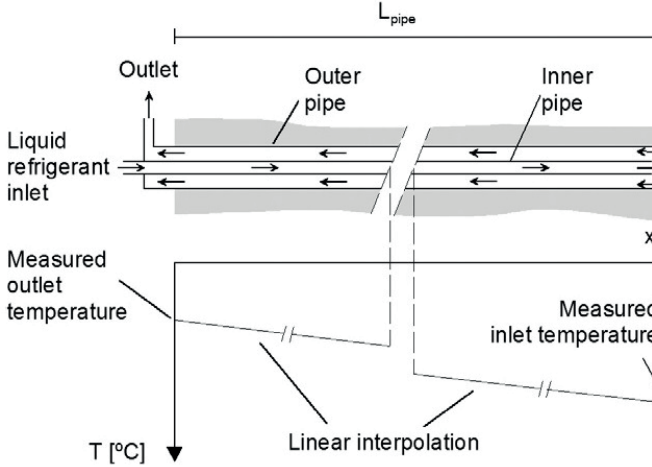


**Şekil 7. Yapay zemin dondurma yönteminin yeryüzünden uygulandığı sistem**



**Şekil 8. Yapay zemin dondurma yönteminin yeraltından uygulandığı sistem**

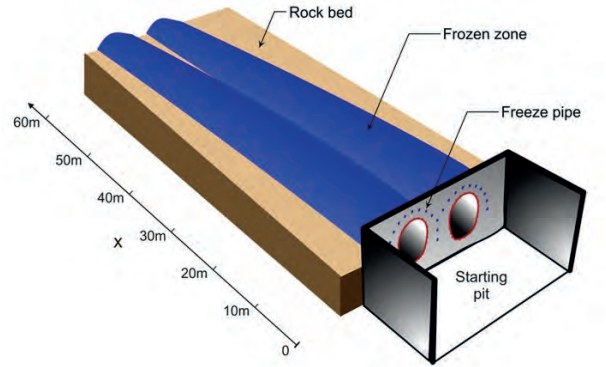
Tarafımızca yapılan değerlendirmeler sonrasında, güzergahın yoğun trafik yükü nedeniyle yapay zemin dondurma yönteminin yeraltından tünel cidarında yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Yeraltından yapılan yapay zemin dondurma uygulamasının prensip şeması Şekil 9'da verilmektedir.



**Şekil 9. Yapay zemin dondurma yönteminin çalışma prensibi**

Şekilden de anlaşılacağı üzere, iç içe geçmiş iki borudan, iç taraftakinden soğutma sıvısı verilmekte, bu soğutma sıvısı zeminden ısı alarak dış boru vasıtası ile dışarı çıkmaktadır. Yeraltında uygulanan yapay zemin dondurma yöntemi sonrasında beklenen perspektif görüntü Şekil 10'da verilmektedir. Yeraltından tünel cidarına yapılan yapay zemin dondurma uygulamasında kullanılan borular, aynı zamanda, tünel açma yönteminin bir parçası olan tahkimat elemanlarından birisi olarak da

kullanılabilir. Gerçekleştirilecek analizler sonrasında, diğer tahkimat elemanları da tanımlanmak suretiyle, tünel kazı işlemi gerçekleştirilebilir. Bu yöntemle, yeryüzünden yapılan dondurma yöntemindeki gereksiz alanların dondurulmasının da önüne geçilerek maliyetlerin azalması sağlanabilir. Aşağıda Şekil 11'de yapay zemin dondurma yöntemiyle zemini iyileştirilmiş bir projede kazı aşaması görülmektedir.



**Şekil 10. Yapay zemin dondurma uygulaması sonrasındaki perspektif görüntü**



**Şekil 11. Yapay zemin dondurma yöntemi ile zemin iyileştirmesi yapılmış bir tünel inşaatında kazı aşaması**

**Çizelge 2. Yapay dondurma yöntemi için dünya uygulamaları (Viggiani and De Sanctis,2009)**

Proje No	Proje Adı	Yer/Tarih	Tünel Kesit Çapı A (m <sup>2</sup> )(m)	Tünel Uzunluğu	Donma Türü
1	Syracuse Tüneli	Syracuse, New York 1980	3.0 m	36.6 m	tuzlu su soğutmalı
2	Yükseklik Tepe Kesen Kanalizasyon Tüneli	Cleveland, Ohio 1987	4.6 m	42.7 m	tuzlu su soğutmalı
3	Deniz Araştırma Laboratuvarı Büyük Akustik Tank	Washington, DC 1989	19.5 m	16.8 m derinliğinde	tuzlu su soğutmalı
4	Kentsel Hızlı Ulaştırma Demiryolu Stuttgart Sözleşmesi Bölüm 12	Stuttgart 1974-78	50 ile 162 m <sup>2</sup>	505 m	tuzlu su soğutmalı
5	Kanalizasyon Toplama Merkezi-Düsseldorf	Düsseldorf 1978	5.2 ile 6.3 m	115 m	tuzlu su soğutmalı
6	Main Nehri altı Frankfurt am Main Metro Geçisi Sözleşmesi Bölümü	Frankfurt am Main 1976-81	2*38.5 m <sup>2</sup>	2*193 m	tuzlu su soğutmalı
7	Nürnberg Metrosu Sözleşmesi Bölümü 258/1.3	Nuremberg 1984	5.6 m	11 m	sıvı nitrojen
8	Hannover Kentsel Raylı Sistemi Sözleşmesi Bölüm C23	Hannover 1988-91	37.4 m ile 55.4 m <sup>2</sup>	251 m	tuzlu su soğutmalı
9	Fahlach Otoyol Tüneli Mannheim	Mannheim 1989-92	2*100 m <sup>2</sup>	184 m	tuzlu su soğutmalı
10	Mühlheim a.d Ruhr Kentsel Demiryolu Sözleşme Bölüm 8	Mühlheim a.d Ruhr 1991-92	38 to 65 m <sup>2</sup>	30 m	sıvı nitrojen
11	Düsseldorf Metrosu Sözleşmesi Bölüm 3.4 H	Düsseldorf 1991-93	96 m <sup>2</sup>	3*40 m	tuzlu su soğutmalı
12	Düsseldorf Metrosu Sözleşmesi Bölüm-Oberbilker Markt	Düsseldorf 1995-98	60 m <sup>2</sup>	38	tuzlu su soğutmalı
13	Milchbuck Yol Tüneli	Zürih 1978-84	145 ile 195 m <sup>2</sup>	350 m	tuzlu su soğutmalı
14	Quay İstasyonu/Limmat Sözleşmesi Bölüm 2.04 Neumühle Quay/Publicitas Sözleşmesi Bölümü	Zürih 1987	13.5 ile 10.5 m 2*7.65 ile 9.30 m	80 m & 40 m	tuzlu su soğutmalı
15	Viyana Metrosu Sözleşmesi Bölümü U6/3 Vivenotgasse	Viyana 1985-87	2*34 m <sup>2</sup>	60/64 m	sıvı nitrojen
16	Viyana Metrosu Sözleşmesi Bölümü U3/10	Viyana 1987	6.60 m - 8.60 m	70 m	sıvı nitrojen
17	Santa Lucia Tüneli	Salerno 1973	85 m <sup>2</sup>	71 m	tuzlu su soğutmalı



**Çizelge 3. Alternatif yapılar**

	YAPI CINSİ	ZEMİN İYİLEŞTİRME /DESTEKLEME ÖNERİSİ	YAPIM YONTEMİ
YERALTI YAPILARI	Delme Tüneller	Zemin dondurma sistemi ile zemin güçlendirme	NATM tünel kazı sistemi
	Aç-Kapa Tüneller	Kesişen iksa kazıkları ile zemin destekleme / Yeraltısuyu önleme	Betonarme kutu
	Rampalar	Kesişen iksa kazıkları ile zemin destekleme / Yeraltısuyu önleme	Betonarme U duvarlar
YERÜSTÜ YAPILARI	Viyadükler	Kazıklı betonarme temeller	Betonarme kolonlar ve öngerilmeli prekast kirişler
	Rampalar	Kazıklı betonarme kenar ayaklar	Betonarme kenar ayaklar

Güzergahtaki trafik yükü ve yapılaşma dikkate alındığında, zeminin sahip olduğu özellikleri kullanarak (herhangibir zemin iyileştirme işlemi uygulamadan) bir yeraltı yapısı inşa etmek, oldukça riskli gözükmemektedir.

Sunulan alternatiflere göre önerilen yapım yöntemleri aşağıda çizelge halinde verilmektedir.

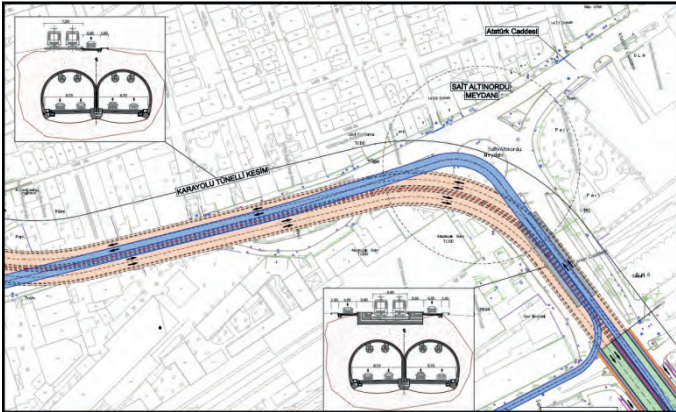
## 5. EN UYGUN ALTERNATİF VE YÖNTEM SEÇİMİ

Jeolojik ve jeoteknik çalışmalar bahsi geçen güzergahta bulunan zemin yapısının deyim yerindeyse her türlü olumsuz şartı içerdiğini göstermektedir. Bu nedenle, güzergahta tünel ile oluşturulacak yeraltı yapısı öncesinde mutlak suretle zemin iyileştirme yöntemi uygulanmalıdır. Değişik zemin iyileştirme yöntemleri incelendiğinde, YAPAY ZEMİN DONDURMA yöntemi en uygun yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Güzergah üzerindeki en kritik yapıların İZBAN Alsancak istasyonu ve TCDD 3. Bölge Müdürlüğü Binası olduğu göze çarpmaktadır. Bunların dışında da bazı yapılar bulunmakla beraber, en hassas yapılar bunlardır. Bu yöntemle yapılacak uygulama öncesinde, çok iyi araştırma

yapılması, yerinde ve laboratuvarında deneylerin en hassas şekilde yapılması, Termo-Hidro-Mekanik modellemelerin yapılması, bunların sonuçlarına göre dondurma çapının ve tahkimat elemanlarının belirlenmesi gerekmektedir. Yapay Zemin Dondurma Yöntemlerinden, yeraltından uygulanan şekli ile gerçekleştirilecek uygulama, güzergah üzerindeki yapıların hasar görmesini engelleyecek, trafiğin akışının devamını sağlayacak, yeryüzüne ve yeraltına zarar vermeyecektir. Çevresel olarak da temiz bir uygulama olacaktır. Tarafımızca yapılan değerlendirme de, yeryüzündeki tramvay hattı da bu yapı içine alınarak, 3 şeritli bir yeraltı yapısı yapılması mümkündür. Bu durumda, zaten sıkışık olan bölgede, ek yer kullanımı söz konusu olmayacaktır. Dünya uygulamalarında görülmüştür ki; zeminin yapısına göre Yapay Dondurma Yöntemi ile zemin iyileştirmesi yapıp, tünel ile geçilen bölgelerde, metre başına maliyetler (yeraltı yapısının genişliğine ve yüksekliğine bağlı olarak) 10 000 dolar ile 25 000 dolar arasında değişmektedir. Dondurma işlemi süresi olarak tünel kazısı hariç en az 15 günlük süreye ihtiyaç vardır. Uygulamanın yeraltından ve yatay yapıldığı düşünülürse,

tek seferde yaklaşık 20-25 m uzunluğunda bir tünel cidarını dondurmak mümkündür. Ancak kazı esnasında bu dondurulan bölümün tamamı kazılmaz. Yapılacak araştırmalar sonrasında karar verilmesi gereken hususlardan birisi de budur. Pratik bir yaklaşımla, ikinci kazı dilimi için 5 m'lik bir emniyet topuğu bırakılırsa yeterli olacaktır diye düşünülmektedir. Yine de bu topuk miktarı proje aşamasında belirlenmelidir. 15 gün dondurma ve 10 gün kazı-destekleme (günde 2 m ve toplamda 20 m) olarak düşünüldüğünde 20 m'lik bir tünelin kazısının yaklaşık 30 gün süreceği beklenmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde ki alternatif yöntemler değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucu olarak, projeye en uygun alternatifin aşağıda Şekil 12'de verilen şekli ile uygun olacağı değerlendirilmiştir.



**Şekil 12. Proje kapsamında değerlendirilen en uygun alternatif**

## 6. SONUÇ

Çalışma kapsamında elde edilen bilgiler ışığında seçilmiş olan en uygun alternatifin hem jeolojik yapı hem de lokasyonun yapılaşma durumu düşünüldüğünde en uygun alternatif olduğu değerlendirilmiştir. Bu süreç içerisinde, sadece tünel kazı-destekleme yöntemleri değerlendirilmemiştir. Bunların yanında, lokasyonun trafik yükünün çok fazla olması nedeniyle yapılacak çalışmaların süreci ve

ekonomikliği ve çevresel problemler de değerlendirmeler içinde yer almıştır. Yapay zemin dondurma yöntemi pahalı bir yöntem olmakla beraber, böylesi lokasyonlarda dünyada uygulama bulmuştur. Ülkemizde henüz uygulaması olmamasına rağmen, bu proje ile ilk uygulamanın yapılması beklenmektedir.

## TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmaya teknik ve ekonomik destek verdiği için Eryol Mühendislik Müşavirlik Ticaret Limited Şirketi'ne teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

Aksoy CO, 2016, Eryol Mühendislik Müşavirlik Ticaret Limited Şirketi'ne Ait Vahap Özaltay Meydanı Ve Çevresi Kesintisiz Karayolu Ulaşımının Sağlanması Amacıyla Tünel Metodolojisinin Ve Modelinin Ortaya Konması Ar-Ge Projesi Raporu, D.E.Ü. Müh. Fak. Maden Müh., s:30.

Akyurt, M., Zaki, G. and Habeebullah, B., "Freezing Phenomena in Ice-Water Systems", Energy Conversion and Management, Vol 43, pp. 1773-1789, 2002.

Viggiani, G.M.B., De Sanctis, L., 2009. Geotechnical aspects of underground railway construction in the urban environment: the examples of Rome and Naples. Geol. Soc. Eng. Geol. Special Pub. 22 (1), 215-240.

Duan, X. and Naterer, G.F., "Heat Transfer in a Tower Foundation with Ground Surface Insulation and Periodic Freezing and Thawing", International Journal of

Heat and Mass Transfer, Vol 53, pp. 2369-2376, 2010.

Li, S., Lai, Y., Zhang, M. and Zhang, S., “Minimum Ground Pre-freezing Time Before Excavation of Guangzhou Subway Tunnel”, Cold Regions Science and Technology, Vol 46, pp. 181-191, 2006.

Yang, P., Ke, J-m., Wang, J.G., Chow, Y.K. and Zhu, F-b., “Numerical Simulation of Frost Heave with Coupled Water Freezing, Temperature and Stress Fields in Tunnel Excavation”, Computers and Geotechnics, Vol 33, pp. 330-340, 2006.

Eslami-nejad, P. ve Bernier M., “Freezing of Geothermal Borehole Surroundings: A Numerical and Experimental Assessment with Applications”, Applied Energy, Vol: 98, 333-345, 2012.

# Aşınmış Matkaplar için Bileyleme Çalışmasının Bir Yeraltı Metalik Madeninde Uygulanması

## *An Assessment of Grinding Process for Worn Rock Bits in Underground Metallic Mine*

Ö. Acaroğlu Ergün, C. Erdoğan, Ö. C. Güven

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

**ÖZET** Delme patlatma uygulamaları yeraltı madenciliğinde oldukça sıklıkla kullanılan bir kazı uygulaması olup özellikle büyük üretim miktarlarına sahip ocaklarda jumbo adı verilen döner darbeli delici makinalar ile yapılmaktadır. Delik delme uygulamalarında birim maliyetler diğer madencilik operasyonlarına göre düşük olsa da bir madende kilometrelerce delik delindiği düşünüldüğünde birim maliyetlerdeki en ufak bir düşüş toplam maliyetlerde oldukça büyük tasarruflara neden olmaktadır. Delik delme birim maliyetine iki önemli parametre etki etmektedir. Bunlar birim metre için tüketilen enerji ve sarf tüketim maliyetleridir. Buna bağlı olarak delme hızının artırılması yani birim metre için tüketilen enerji miktarının düşürülmesi ve sarf malzemelerinin kullanım ömürlerinin arttırılması için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, sarf malzemelerinin kullanım ömürlerinin arttırılması üzerine bir uygulama olan bileyleme çalışması tanıtılmış, Ezcacıbaşı Esan Balya Kurşun Çinko Bakır Madeni'ndeki bir uygulama örneğine bağlı olarak maliyet analizi yapılmıştır.

**ABSTRACT** Drilling and blasting method is most popular method in underground excavation mining. Underground rock drilling operations especially in underground metallic mines are carried out by rotary percussive rock drilling method with jumbos. The unit cost of drilling is lower than other operations in mines however kilometers of drilling is accomplished thus a minor cost saving in unit cost may comprised great saving in cumulative costs. There are two main components of expenditure in drilling operations which are the cost of energy influenced by penetration rate and the life of drilling equipment. The worn drilling equipment especially rock bits have also direct effect on penetration rate. According to these, the extending of drilling equipment's operation life without significant loss in penetration rate is very important for cost saving in drilling operations. From this scope, a new technology for grinding the rock bits is introduced for usage of industry.

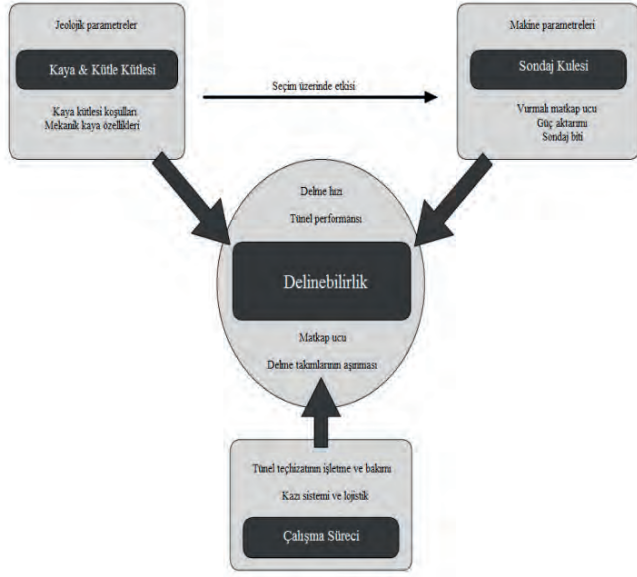
In this study, firstly the new grinding technology for improving the operation rates for the worn bits is introduced then drilling operations in Ezcacıbaşı Esan Balya Lead Zinc Copper Underground Mine is stated and the penetration rate of the brand new rock bits has been analyzed. The penetration rate of the grinded rock bits is also estimated and comparison of the penetration of grinded rock bits and brand new rock bits are conducted. Finally cost estimation of drilling operations in Ezcacıbaşı Esan Balya Lead Zinc Underground mine is presented.

### 1 GİRİŞ

Madencilikte delme işlemi, patlatma deliklerinden, tahkimat ve sağlamlaştırma, cevher takip ve karotlu sondaj işlerine kadar çok geniş alanda uygulanmaktadır. Madencilikte delik delme uygulamalarını

toplamda kilometrelerce delik delme uygulaması olduğu düşünüldüğünde, özellikle patlatma amaçlı delik delme maliyetlerinin üretim maliyetlerine etkisi oldukça büyüktür (Rao ve Misra, 1998).

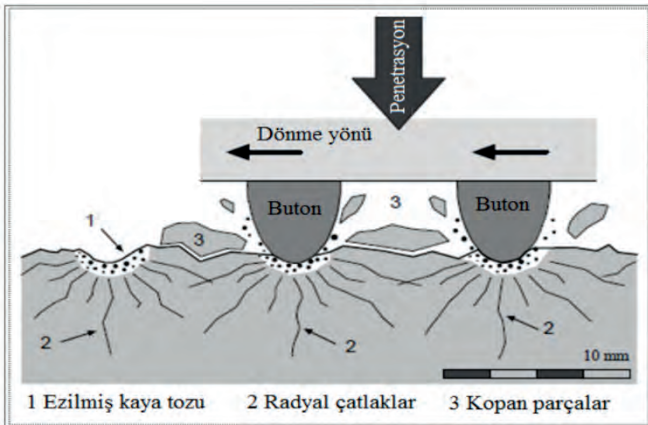
Delik delme uygulamalarına ait maliyetler ise makina, işçilik, sarf malzemesi ve enerji maliyeti olarak sınıflandırabiliriz. Enerji maliyeti, delme hızının (m/dak) yani genel



Şekil 1. Delme uygulamalarına etki eden parametreler

olarak delinebilirliğin etkisi ile artmakta ya da azalmaktadır. Delinebilirlik Şekil 1’de gösterildiği üzere birçok etkene bağlıdır (Thuro ve Spaun, 1996). Bu parametreler, kayaç ve kayaç kütle özellikleri, delici tabancanın gücü, matkabın tipi ve aşınma hızı, madencilik metodu ve bakım-ikmal işleri olarak özetlenebilir. Aşınmış ve yıpranmış matkaplar delik delme maliyetlerinde hem delinebilirliği yani yakıt maliyetlerini hem de malzeme (sarf) maliyetlerini etkilemektedir.

Döner darbeli delik delme yöntemi yeraltı madenciliğinde yaygın şekilde kullanılmakta olup bu işlem sırasında matkap ile kayacın



Şekil 2. Delici makinalarda delme işlemi (Plinninger vd., 2002)

etkileşimi ile gerçekleşen kayaç parçalanma işlemi sırasıyla Şekil 2’de gösterilmiştir.

Görüldüğü üzere matkap dişi (buton) sürekli olarak çatlamış kayaç üzerinde olmaktadır. Bu duruma göre diş tipi ayrı bir önem kazanmaktadır. Toplamda 3 çeşit matkap diş tipi bulunmaktadır. Bunlar

Diş Tipi	Karakteristik
küresel	- agresif olmayan tip - düşük delme hızları - düşük aşınma - delme daha çok darbe ile
yarı balistik	- agresif tip - ortalama delme hızları - ortalama aşınma - delme daha çok kesme ile
konik (balistik)	- çok agresif - maksimum delme hızları - yüksek aşınma - delme daha çok kesme ile

Şekil 3. Buton tipleri ve karakteristikleri (Thuro and Spaun, 1996)

sırasıyla küresel (spherical), yarı-balistik ve balistik (konik) buton tipleridir. Bu buton tipleri ve özellikleri Şekil 3’te verilmiştir.

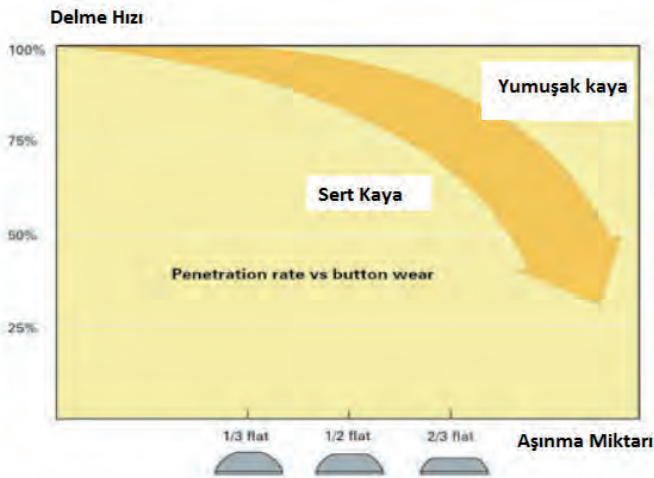
Şekilde görüldüğü üzere, küresel dişli matkaplar, diğer diş tiplerine göre düşük ilerleme hızlarına sahiptir. Delme mekaniğinde ise darbenin ve dönmenin etkisi ile dişler aşınmakta ve konik diş tipli matkaplar küresel şekle dönmekte bundan ötürü de delme hızı düşmektedir. Bu sebepten ötürü doğru zamanda matkap değişimi optimum delme hızının elde edilmesi için çok önemli bir nokta olmaktadır. Erken değiştirilen matkaplar ortalama delme hızlarını yükseltse de kullanım ömürlerini tam tamamlamadan değiştirildikleri için sarf maliyetlerini yükseltmektedir. Bu durumdan ötürü matkapların kullanım ömürlerini arttırmaya yönelik çeşitli uygulamalar söz konusudur. Bu çalışmada da bileyi çalışmalarının metalik bir yeraltı ocağında uygulanmasına ait bir örnek verilmiştir. Delik delme hızları kaydedilmiş buna göre bir maliyet hesabı

oluşturularak uygulamanın ekonomikliği değerlendirilmiştir.

## 2 MATKAPLARDA BİLEYLEME İŞLEMİ VE METALİK BİR MADENDE UYGULANMASI

### 2.1 MATKAPLARDA BİLEYLEME İŞLEMİ

Delik delmedeki maliyetler, deliğin ne kadar sürede delindiği ve ne kadar sarf malzemesi tüketildiği ile bağlantılıdır. Ayrıca düzgün delinemeyen delikler birim kazı miktarına bağlı patlayıcı maliyetlerini de arttıracaktır. Bu duruma aşırı aşınmış matkaplarda oldukça sık karşılaşılmaktadır. Bu yüzden aşınmış matkapların doğru zamanda değiştirilmesi önemli husustur. Şekil 4'te gösterilen aşınma miktarına göre matkapların delme hızlarına bağlı olarak üçte biri aşınmış matkaplar delme hızının sadece %5 kadar düşürürken, üçte ikisi aşınmış matkaplar %30 kadar delme hızını düşürmektedir (Atlas Copco, 2016).



Şekil 4. Delme hızı-aşınma miktarı ilişkisi

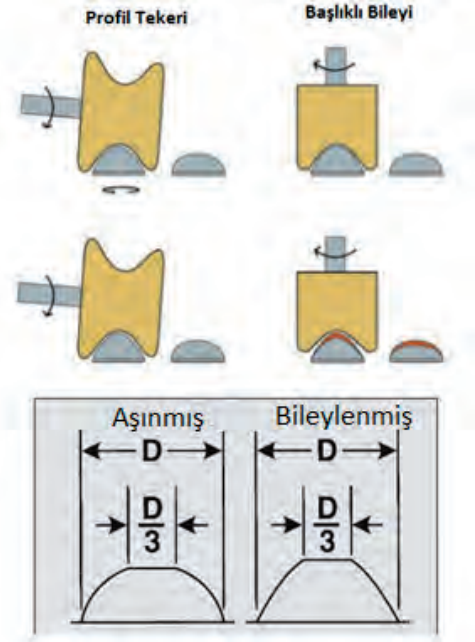
Bileyleme işlemi düzgün bir yüzey oluşturmak adına tercihen 1/3 kadar aşınmış dişleri olan matkaplarla yapılmaktadır. Böylece daha çok metre delik delen matkapların, otomatik olarak kullanım ömürleri de artmış olmaktadır.

Genel kural olarak bir matkap maksimum 10 kez bileylenmektedir ancak bu sayı düşük çaplı delik delen matkaplarda daha da düşüktür (Atlas Copco, 2016).

Matkap fazla metraj delik deldiyse ya da matkabın yarısından fazla aşınmışsa dişler çatlama eğilimindedir. Eğer kenar çatlağı

oluşursa tungsten karbid uçlar kırılır ve kırılan parçalar dişlere daha çok zarar verir. Ayrıca aşınma gözlenmeyen dişlerde, bazı durumlarda dişler üzerinde mikro çatlaklara sahip olabilir. Bu durum "yılan derisi" olarak adlandırılır ve mikro çatlaklar ilerleyerek dişlerde daha büyük hasarlar meydana getirirler. Bu nedenle mikro çatlaklara sahip yüzeylerin bileylenmesi gerekmektedir.

Bileyleme işlemi uzun ömürlü matkap kullanımı için önemli bir kavramdır. İki tip bileyleme metodu bulunmaktadır. Bunlar başlıklı bileyi ve profil tekeri olup bileyleme işlemi ve metodları Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5. Bileyleme metodları ve bileyi işlemi

Elmas ceketli profil tekeri ile bileylenen matkap profillerinin daha düzgün olduğu görülmüş olup bu metotta kullanılan örnek bileyiler Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Bileyleme işleminde kullanılan elmas ceketli profil tekeri

Bu çalışmada elmas ceketli profil tekerli Atlas Copco firmasına ait olan BQ3 bileyi makinesi kullanılmıştır.

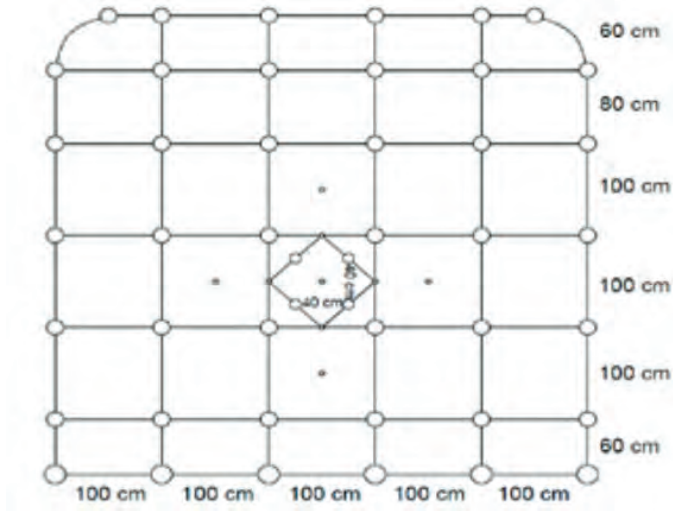
## 2.2 Uygulamanın Yapıldığı Maden Hakkında Bilgiler

Bileyleme uygulamasının yapıldığı Eczacıbaşı Esan Balya Kurşun-Çinko Yeraltı Madeni, Balıkesir ilinin kuzey batısında, merkeze 52 km uzaklıkta olup Balıkesir-Çanakkale yolu üzerinde yer almaktadır.

Sahadaki cevherleşme genellikle kireçtaşı ve dasitin hidrotermal dokanakları içinde oluşmaktadır. Cevherler dasit çatlaklarının içinde realgar, orpiment, galen, sifalerit ve pirit, kireçtaşı çatlaklarının içinde ise galen sifalerit, stibnit, pirit ve orpiment olarak



Şekil 8. Maden işletmesinde kullanılan matkaplar



Şekil 7. Üretim galerileri için delik paterni ve kazı kesiti

bulunmaktadır. Bu madende dolgu kazı (cut and fill) yeraltı madencilik metodu uygulanmaktadır. Üretim galerileri 5 x 5 metrelik kesitlerle açılmakta olup, örnek bir kazı arınındaki delik delme uygulaması Şekil 7'de gösterilmiştir.

Yeraltı patlatma deliklerinin açılmasında döner-darbeli jumbo tabir edilen Sandvik DD320-40 ve Atlas Copco Boomer 282 delici makineleri kullanılmaktadır. Çürütme delikleri dışındaki delikler 45 mm çapında delinmekte olup, bu çalışmanın temelini bu delikler oluşturmaktadır. Bir patlatmada elde edilen ilerlemeler tek bir tij boyu olup 4 metre ile sınırlıdır. Uygulamada kullanılan çeşitli matkaplar Şekil 8'de verilmektedir.

Çalışmada kullanılan matkaplar Atlas Copco firmasına ait Secoroc R32 45 mm konik balistik matkaplardır. Şekil 9'da gösterilen matkabın toplamda 9 adet diş bulunmakta olup, bunlar 40° açı ile konumlandırılmış 6 adet 9 mm çapında köşe dişi ile 3 adet 8 mm çapında merkez dişleri şeklindedir. Ayrıca 3 adet merkezde 1 adet ise kenarda olmak üzere toplam 4 adet tahlisiye deliği bulunmaktadır.

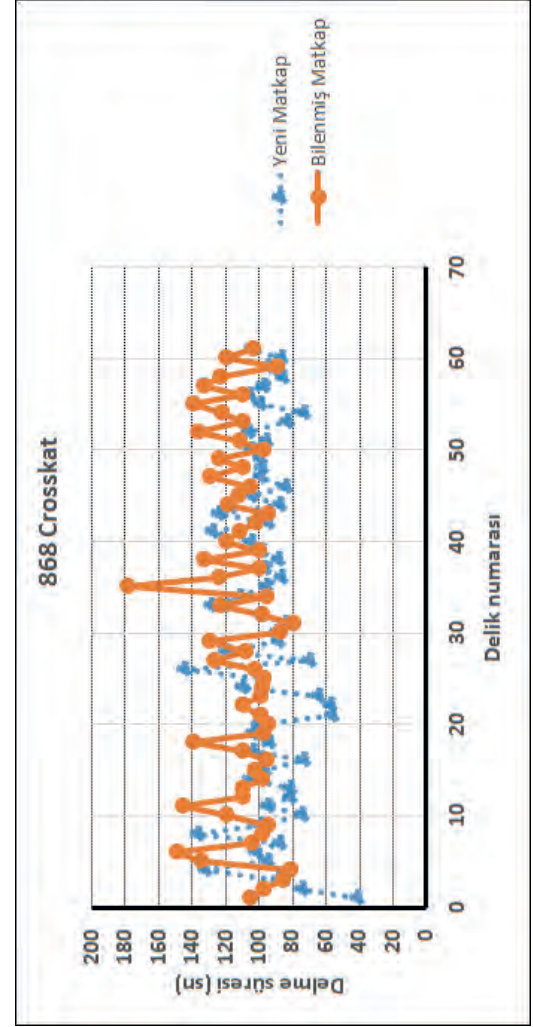
## 2.3 Bileyleme Uygulaması

Eczacıbaşı-Esan Kurşun-Çinko yeraltı madeninde yüksek miktarlarda tüketildiği için sadece 45 mm matkaplar bileyleme işlemine tabii tutulmuşlardır. Bu işlem sırasında öncelikle dişleri düşmüş ve çatlamış kullanılamaz durumdaki matkaplar ayrılarak kalan matkaplar yıkanılarak kurutulmaktadır. Operatör matkapları merkez dişleri bileylerken makina tablası ile paralel, köşe dişleri bileylerken ise makina tablası ile 45° açı yapacak şekilde konumlandırmaktadır. Matkaplar yerleştirildikten sonra tabla dönmeye başlamakta ve özel bir yağ matkapların üzerine püskürtülmektedir. Ardından profil tekeri dişlerin üzerine indirilerek bileyleme işlemi yapılmaktadır. Bu işlem her bir diş için ayrı ayrı yapılmaktadır. Böylelikle aşınarak küresel biçime ulaşmış dişler tekrardan konik balistik dişler haline getirilerek kullanım ömürleri arttırılmaktadır. Bileyi işlemi Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 9. Bileyleme işlemine tabii tutulan matkap

delme bileylenmiş ve yeni matkap delik delme süresi grafiği Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. 868 Crosskat için elde edilen delik delme süreleri( Güven, 2016)

## 2.4 Yeni ve Bileylenmiş Matkapların Delme Hızlarına İlişkin Zaman Etüdü

Bu çalışmada, Eczacıbaşı Esan Balya Kurşun Çinko Yeraltı Madenine ait iki ayrı galeride (868 Crosskat ve 836 Doğu) delik delme işlemi için zaman etüdü yapılmıştır. Bu galeriler, manyetit, kireçtaşı, pirit minerallerin bulunduğu formasyonlarda açılmış olup benzer kaya ve kaya kütle özellikleri göstermektedir ancak, bu kaya kütlelerini oluşturan mineralleşme oranları farklılık gösterebilir. Bu çalışmada kaya kütle özelliklerinin belirlenmesine dair herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

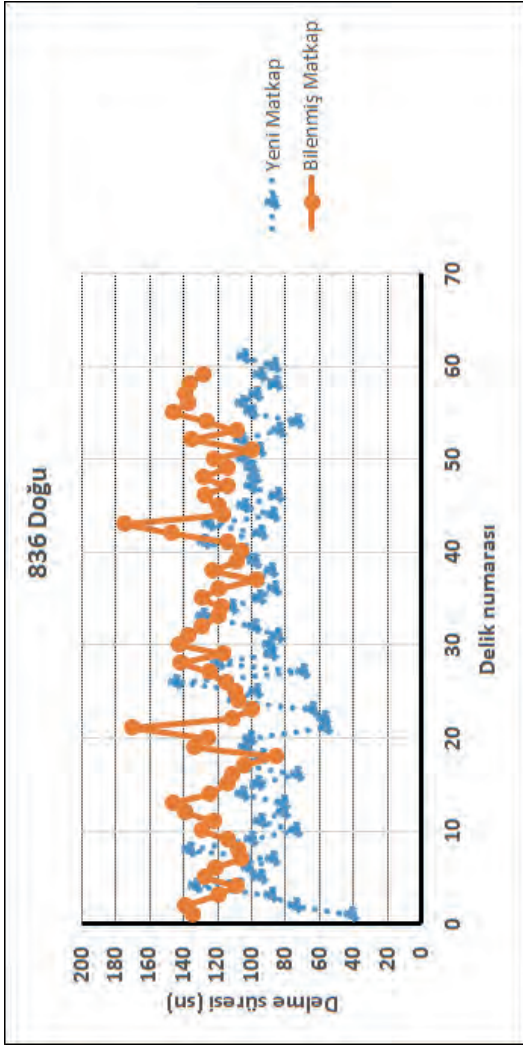
868 Crosskatta, 45 mm’lik yeni matkap için elde edilen verilere göre 61 adet 4 metrelik delikte elde edilen ortalama delme süresi 95.8 saniye ve ortalama delme hızı 2.50 metre/dakika olarak elde edilmiştir. Bu delme sürelerine makina bomunun manevra süreleri dahil değildir. Ardından 868 Crosskat galerisinde bileylenmiş 45 mm’lik matkaplar kullanılarak delme süreleri tutulmuştur. Burada da yine 61 adet 4 metrelik delik için ortalama delme süresi 111.8 saniye ve ortalama delik delme hızı ise 2.15 metre/dakika olarak elde edilmiştir. Görüldüğü üzere bileylenmiş matkaplarda ortalama delme hızında bir düşüş meydana gelmiştir. 868 Crosskat için elde edilen

836 Doğu galerisi için de aynı işlemler yapılmıştır. 836 Doğu galerisinde yeni matkaplar her biri 4 metre olmak üzere toplam 63 adet delik delinmiştir. Bu deliklerden elde edilen ortalama delme süresi 112.16 saniye ortalama delik delme hızı ise 2.13 metre/dakika’dır. Ardından 836 Doğu galerisi bileylenmiş matkap delik delme uygulaması için yapılan iş-zaman etüdünde 59 delikte elde edilen ortalama delme süresi 124.1 saniye ve ortalama delme hızı 1.93 metre/dakikadır. Burada aynada daha az delgi delinmesinin sebebi galeri kesitinde daha az delik delme gereksinimi olmasıdır. 836 Doğu galerisinde elde edilen bileylenmiş ve yeni matkap delik delme süresi grafiği ise Şekil 11’de verilmiştir.

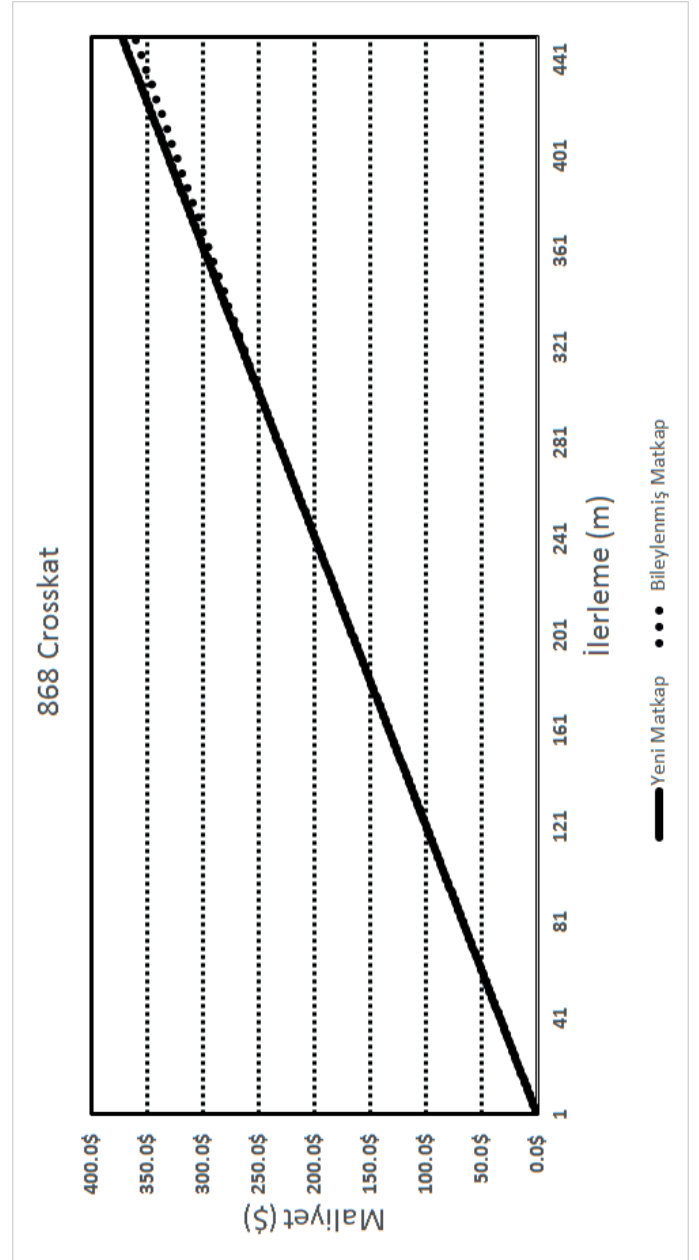
Yukarıdaki iş-zaman etüdülerine göre bilenmiş matkaplar yeni matkaplara göre 868 Crosskat galerisinde %14, 836 Doğu galerisinde ise % 10 daha düşük delme hızları elde edilmiştir. Bu durumun nedeni



matkapların dişlerinde meydana gelen kesme derinliği kaybı olarak açıklanabilir.



Şekil 11. 836 Doğu için elde edilen delik delme süreleri (Güven, 2016)



Şekil 12. 868 Crosskat birim maliyet grafiği (Güven, 2016)

## 2.5 Yeni ve Bileyenmiş Matkaplar İçin Yapılan Maliyet Analizi

Yukarıda belirtildiği üzere delme maliyeti, deliğin ne kadar sürede delindiği ve ne kadar sarf malzeme tükettiği ile alakalıdır. Buna göre çalışılan formasyonda 300 metre delik delebilen 45 mm matkapların kullanım ömrü 300 metre delik deldikten sonra 150 metre delik delinebilecek kapasiteye kadar artırılmıştır. Ancak iş zaman etüdünden de anlaşıldığı üzere sarf tüketiminin azaltsa bile bileyenmiş matkaplar daha yavaş delik delebildiği için yakıt maliyetini ve makina yıpranma payını arttıracaktır. Örnek olarak 868 Cross kat için elde edilen birim maliyet analizi Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre her bir matkabın kullanım ömrü dikkate alınarak Şekil 12 ve Şekil 13'de verilen maliyet analizi yapılmıştır.

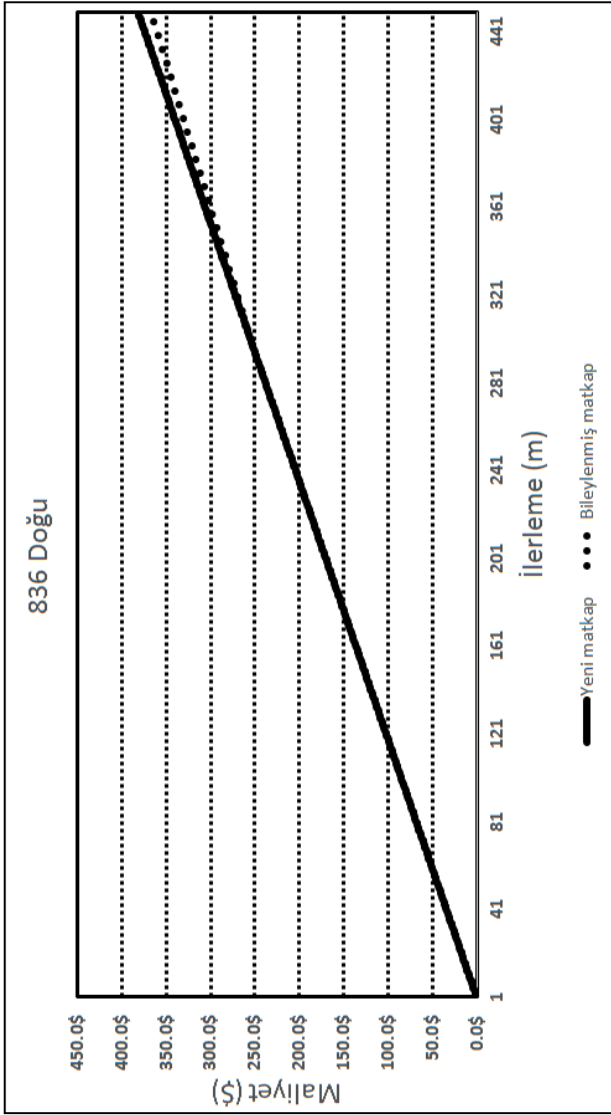
Buna göre 868 galerisi için bileysiz kullanılan matkap ile bileyenip kullanılan matkap arasındaki 450 m kullanım sonucunda oluşan fark bileyleme operasyon maliyetleri dahil (bileyi makinası maliyeti hariç) delme maliyetleri arasındaki fark matkap başına 11.3 \$ tasarruf sağlamakta olup bu değer 836 Doğu galerisi için 14.5 \$ olarak bulunmuştur. Bileyi makinası maliyeti hesaba katıldığında yüksek matkap tüketen ocaklar için bu uygulama avantajlı duruma gelmektedir.

analizi (868 Crosskat için)

Yeni Matkap Maliyet Analizi (868 Crosskat)			
Matkap maliyeti	45 mm matkap	0.1500\$	\$/metre
Delici makina maliyeti	Elektrik	0.0726\$	\$/metre
	Bakım maliyeti	0.0200\$	\$/metre
	Amortisman	0.0648\$	\$/metre
İşçilik Maliyeti	Jumbo	0.1041\$	\$/metre
Sarf malzemesi maliyeti	Tij	0.1000\$	\$/metre
	Shank	0.1500\$	\$/metre
	Tabanca	0.1660\$	\$/metre
	1 metre için oluşan maliyet	0.8275\$	\$/metre

Tablo 2. Bilenmiş matkap birim maliyet analizi (868 Crosskat için)

Bilenmiş Matkap Maliyet Analizi (868 Crosskat)			
Amortisman	Bileme makinası tükenme maliyeti	0.0694\$	\$/metre
Bileme maliyeti	Elektrik	0.0006\$	\$/metre
	Bileyleme tekeri	0.0046\$	\$/metre
	Yağ	0.0039\$	\$/metre
Delici makina maliyeti	Elektrik	0.0853\$	\$/metre
	Bakım maliyeti	0.0234\$	\$/metre
	Amortisman	0.0648\$	\$/metre
İşçilik Maliyeti	Jumbo	0.0620\$	\$/metre
	Bileyleme	0.0013\$	\$/metre
Sarf malzemesi maliyeti	Tij	0.1000\$	\$/metre
	Shank	0.1500\$	\$/metre
	Tabanca	0.1872\$	\$/metre
	1 metre için oluşan maliyet	0.7525\$	\$/metre



Şekil 13. 836 Doğu galerisi birim maliyet grafiği (Güven, 2016)

Tablo 1. Yeni matkap birim maliyet

### 3 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Madencilik faaliyetlerinde delme önemli bir yer tutmaktadır. Madenlerde kilometrelerce

delik delme işlemi yapıldığında delik delme birim maliyetlerindeki ufak düşüşler operasyon toplam maliyetlerinde büyük farklar yaratmaktadır. Delik delme birim maliyetlerin de ise delme hızı ve sarf malzeme tüketim miktarı etkin olarak rol oynamaktadır. Delme hızına kayaç ve kaya kütlesi özellikleri etkin rol oynamakla beraber aşınmış dişlere sahip matkaplarda ayrıca etki etmektedir. Bu nedenle optimum delme hızları için aşınmış matkapların doğru zamanlarda değiştirilmeleri önemlidir. Aşırı aşınmış matkaplar delme hızını önemli ölçüde düşürürken, erken değiştirilen matkaplar ise fazla matkap tüketimine yol açacaktır. Bu yüzden matkapların kullanım ömürlerini arttırmaya yönelik çeşitli çalışmalar söz konusu olup bunlardan bir tanesi de matkaplar için bileyleme çalışmasıdır.

Bu çalışmada Ezcacıbaşı Esan Balya Kurşun Çinko Yeraltı Maden ocağında yapılan matkap bileyleme çalışması incelenmiştir. Bu çalışmada 868 Crosskat ve 836 Doğu galerilerinde patlatma amaçlı kullanılan 45 mm'lik yeni ve bileylenmiş balistik dişli matkapların delik delme süreleri tutulmuştur. Bu tutulan zamana göre elde edilen yeni ve bileylenmiş matkapların delme hızları incelenmiş, bileylenmiş matkapların delme hızlarının %10-%14 arasında düştüğü gözlemlenmiştir. Bu düşüş kazı mekaniğindeki kesme derinliğinin azalması ile açıklanabilir. Her ne kadar bileyleme işlemi sonucu delik delme hızları düşse de maksimum 300 metre delik delebilen matkapların kullanım ömrünü 450 metreye çıkarması açısından bir delik delme birim maliyet analizi bu çalışmada yapılmıştır. Buna göre 868 Crosskat için her matkap için 11.3\$ ve 836 Doğu için ise 14.5 \$ delme operasyonunda tasarruf elde edilmiştir. Ayrıca bu yeraltı madeninde mevcut uygulama ile ayda yaklaşık 200 matkap daha az tüketildiği düşünüldüğünde yüksek miktarlarda matkap tüketen işletmelerde etkin olarak kullanılması gereken bir uygulama olduğu anlaşılmaktadır. Ancak bu çalışmanın ilerlemesi adın kaya kütle özelliklerinin tesbiti ile delici uç kayaç etkileşiminin iyi irdelenmesi gerekmekte böylelikle delme sürelerindeki farklılıkların sebepleri daha iyi analiz edilmesi planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

Atlas Copco, 2015. *Face Drilling (Fourth Edition)*, 160.

Atlas Copco, 2008. *Surface Drilling (Fourth Edition)*, 260.

Güven, Ö.C., 2016. *Rotary Percussive Drilling Machine Performance Analysis and Comparison of New and Sharpened Drill Bits in Ezcacıbaşı Esan Balya Lead-Zinc Mine*, Bitirme Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 87.

Plinninger, R.J., Spaun G., Thuro K., Prediction and Classification of tool wear in drill and blast tunneling, *Proceeding 9TH Int. IAEG Congress*, 2226-2236, Durban

Rao K.U.M., Misra B., 1998. Principles of rock drilling", A.A. Balkema, Rotterdam Netherlands. 265.

Thuro, K., Spaun, 1996. Drillability in Hard Rock Drill and Blast Tunnel, *Geomechanics*, 14-2, 1-11

Yunsel, T.Y., Ersoy, A, 2013. Geological modeling of rock type domains in the Balya (Turkey) lead-zinc deposit using plurigaussian simulation, *Central European Journal of Geosciences* , 5, 1, 77-89.

## Açık Ocak Patlatmalarının Bir Yeraltı Ocağı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

### *An Investigation of the Effect of Open Pit Blasts on An Underground Mine*

Ö. Uysal, Ş. Yuvka, S. Beyhan

*Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

H.E. Çatal

*Park Teknik Elektrik San. ve Tic. A.Ş., Tavşanlı, Kütahya*

**ÖZET** Bu çalışmada bir açık kömür işletmesinde yapılan patlatmaların, yakında bulunan bir yeraltı kömür ocağı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aynı kömür damarında üretim yapılan iki ocak birbirine oldukça yakın olup, ileriki dönemde aralarındaki mesafe 50 m'ye kadar düşecektir. Yapılan patlatmalardan yeraltı ocağının hasar görmemesi için patlatmaların kontrollü bir şekilde yapılması gerekmektedir. Patlatma çalışmalarının başlamasından itibaren, yapılan patlatmalar ve yeraltı ocağına olan etkileri gözlemlenmeye başlamıştır. Patlatmaların oluşturduğu titreşimin kaydedilmesi için yeraltı ocağının değişik noktalarına sismograflar kurulmuş ve titreşim kayıtları alınmıştır. Bu kapsamda 210 adet titreşim kaydı alınmıştır. Elde edilen veriler istatistiksel değerlendirmeye tabi tutularak regresyon katsayısı ve denklemleri belirlenmiştir.

**ABSTRACT** In the this study, the impact of open pit mine blasts on an underground pit mine were investigated. Production in the two mines is conducted on the same coal vein and in the coming years the distance between the two mines will decrease to 50 meters. In order not to disrupt the underground mine, blasts have to be conducted carefully. As of the very beginning of the blasting, the blasts and their impact on the underground mine were observed. Sismographs were installed at various spots of the underground mine in order to record the vibrations caused by blasts and vibrations were recorded. A total of 210 vibrations were recorded within the scope of the study. The data obtained were subjected to statistical analysis and regression co-efficients and equations were determined.

## GİRİŞ

Patlatma işlemi; madencilik, inşaat işleri, taş ocağı işletmeciliği, baraj ve tünel inşaatı gibi birçok mühendislik çalışmasında vazgeçilmez bir gerekliliktir. Bu gerekliliğin yanında, patlatma işlemi ile birlikte, yersarsıntısı, hava şoku ve fırlayan kaya gibi olumsuzluklar gündeme gelmektedir. Özellikle yerleşim yerlerine yakın olan faaliyetlerde bu unsurlar önemli bir sorun olmaktadır. Son yıllarda, patlatma işlemine bağlı olarak gündeme gelen haklı veya haksız şikayetler, teknik elemanların en önemli problemlerinden biri haline gelmiştir (Felice 1993, Özdemir vd. 2004, Tuncer vd. 2003, Uysal vd. 2004, Uysal vd. 2008, Erarslan vd. 2008, Uysal vd. 2013). Bu olumsuz etkiler çoğu zaman çevredeki yerleşim yerleri veya diğer yerüstü yapılarını etkilese de zaman zaman yeraltı yapıları üzerinde de etkili olabilmektedir (Singh, 2002, Singh ve Roy, 2008, Singh vd., 2015).

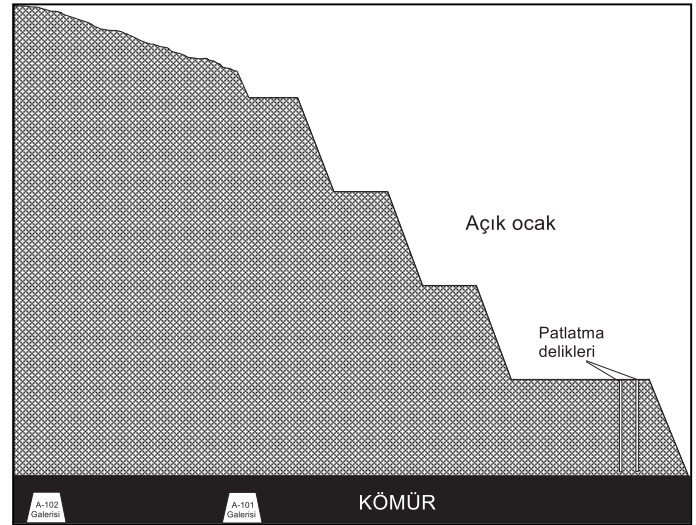
Bu çalışmada, Garp Linyitleri İşletmesi sahası içerisinde yer alan bir dekapaj panosunda yapılan patlatmaların yakında bulunan İğdekuzu yeraltı işletmesi galerileri üzerindeki etkisi ele alınmıştır. Söz konusu saha kömür sahası olup, açık ocak ve yeraltı ocağı aynı kömür damarında çalışmaktadır. Açık ocakta yapılan patlatmalar yeraltı yapılarını etkilemekte ve patlatma bölgesi ile yeraltı galerileri arasındaki mesafe ileriki dönemde 50 metreye kadar düşmektedir. Çalışma kapsamında, yapılan patlatmalar yeraltında kurulan titreşim ölçer cihazlar ile ölçülmüş ve elde edilen veriler istatistiksel değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

## 1 ÇALIŞMA SAHASI

Çalışma Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) açık ocaklarında gerçekleştirilmiştir. İşletme Türkiye'nin batısında bulunan Kütahya'ya yaklaşık 30 km mesafededir. Söz konusu sahada hem açık işletme hem de yeraltı işletmesi faaliyetleri yürütülmektedir. Açık ocak ve yeraltı ocağı aynı kömür damarında çalışmaktadır (Şekil 1). Açık ocakta dekapaj faaliyetleri delme-patlatma ve ekskavator-kamyon yöntemi ile yapılmaktadır. Yeraltı

işletmesinde uzunayak üretim yöntemi uygulanmaktadır.

Açık ocaktaki patlatmalar, kömürün üzerindeki örtü tabakasını gevşetmeye yönelik atımlardır. Formasyon, marndır. Delikler 10 m uzunluğunda ve 114.3 mm (4.5 inç) çapındadır. Dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe 5 m'dir. Patlayıcı madde olarak ANFO, yemleme olarak powergel dinamit ve ateşleme için elektriksiz kapsül kullanılmaktadır. Delikler arasında 25 ms, sıra aralarında ise 65 ms gecikme uygulanmaktadır. Şekil 1 ve Şekil 2'de görüldüğü gibi yeraltı işletmesinde, açık ocağın hemen yakınında A1 nolu panoda üretim faaliyetleri devam etmektedir. Bu pano yaklaşık 600 m uzunluğunda olup ayak uzunluğu 80 m'dir. Patlatma yapılan bölgeye en yakın galeri olan A101 galerisi 5,50m x 4,50 m boyutlarında olup kömür içerisinde açılmıştır. Galerilerde tahkimat çelik bağlar ile yapılmaktadır.



Şekil 1. Çalışma sahasının sembolik gösterimi

## 2 ARAZİ ÇALIŞMALARI

Çalışmanın yapıldığı sahada, hem yeraltı hem de açık işletmede üretim faaliyetleri devam etmektedir. Açık ocağın değişik bölgelerinde hemen hemen her gün patlatma yapılmaktadır. Patlatma delikleri 10 m uzunluğunda olup bir delikte en fazla 75 kg ANFO kullanılmaktadır. Bu miktar, hasar kriterlerine göre yapılan değerlendirmeler sonucunda belirlenmiş ve sınırlandırılmıştır.

Ancak yine de bu patlatmalar yeraltı işletmesinden hissedilmekte ve çalışanlar üzerinde psikolojik etkiler yapmaktadır.

Çalışma kapsamında açık ocakta yapılan tüm patlatmalara ait patlayıcı madde miktarı, gecikme düzeni, delik sayısı vb. değerler kayıt altına alınmış ve kontrollü şekilde patlatılmıştır. Patlatmalar sonucu yeraltı galerilerinde oluşan etkiler gözlenmiştir. Patlatma bölgesine en yakın galeri olan A101 nolu galeride patlatma kaynaklı küçük hasarlar meydana gelmiştir. Bunlar yan duvar ve tavadan küçük kömür parçalarının düşmesi şeklindedir (Şekil 3).

Yeraltı ocağında oluşan titreşimin ölçülmesi amacıyla, yeraltında farklı bölgelere titreşim ölçerler kurularak ölçümler yapılmıştır (Şekil 2). Bu kapsamda 210 adet patlatma gerçekleştirilmiştir. Bu patlatmalara ait bilgiler ve ölçüm çalışmalarından elde edilen verilerin bazıları Çizelge 1’de verilmiştir. Bu veriler ile regresyon analizi yapılarak, veriler arasındaki ilişkiyi gösteren denklemler elde edilmiştir.

Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde, pek çok araştırmacı tarafından kabul görmüş olan ölçekli mesafe (SD) ve maksimum parçacık hızı (PPV) değerleri göz önüne alınmıştır. Burada bahsi geçen ölçekli mesafe, patlatma ve ölçüm noktası arasındaki mesafeyi ve gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarını göz önüne alan bir değerdir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$SD = R/Wd^{0.5} \quad [1]$$

Burada;

SD: Ölçekli mesafe

R : Patlatma ve ölçüm noktası arasındaki mesafe (m)

W : Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı.(kg)

PPV tahmininde USBM tarafından geliştirilen ve en yaygın kullanılan eşitlik

olan aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Dowding, 1985).

$$PPV = k * (SD) - \beta \quad [2]$$

Burada;

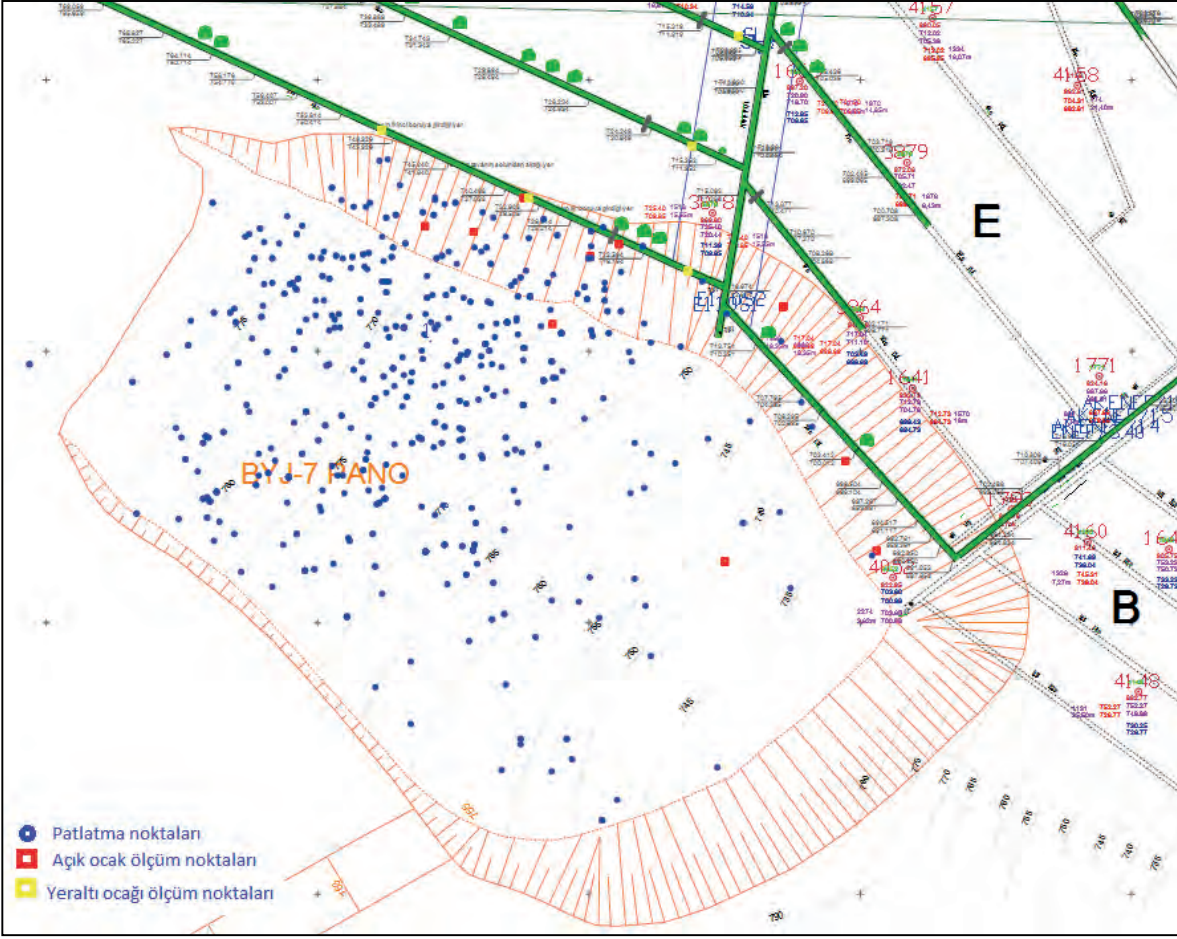
PPV : maksimum parçacık hızı (mm/s)

k ve  $\beta$  : patlatma dizaynı ve saha jeolojisi ile ilgili katsayı.

Ölçekli mesafe (SD) ve maksimum parçacık hızı (PPV) değerleri kullanılarak çizilen grafik Şekil 4’de görülmektedir. Söz konusu grafik ve elde edilen denklemler kullanılarak bundan sonra yapılacak patlatmalar sonucu oluşacak titreşim değerini tahmin etmek mümkündür. Bu amaçla grafikte aynı zamanda %95 tahmin hattı doğrusu ve denklemleri de verilmiştir.

Çizelge 1. Patlatmalar ve yeraltı ocağından yapılan ölçüm sonuçlarından bazıları

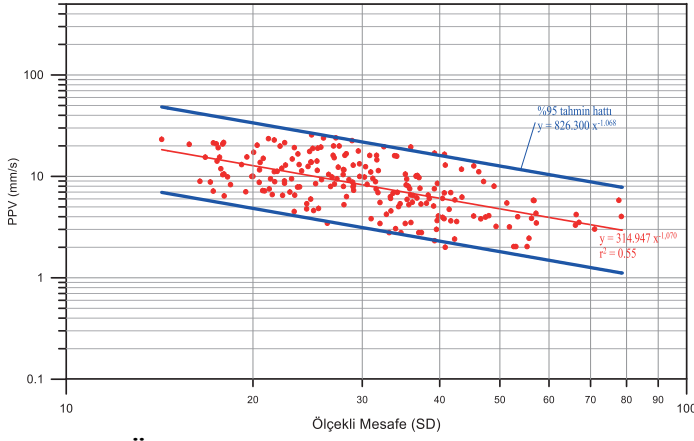
No	Gecikme başına mak. p.m. miktarı (kg)	Mesafe (m)	Ölçekli Mesafe	PPV mm/s	Frek. (Hz)
1	75	400	46.24	11.10	45
2	75	375	43.36	11.76	51
3	75	376	43.43	6.24	51
4	75	220	25.43	18.94	30
5	75	304	35.19	3.43	24
6	75	368	42.59	3.59	27
7	75	339	39.23	2.32	15
8	75	201	23.30	4.50	16
9	75	312	36.13	5.56	51
10	25	158	31.64	16.1	31
206	70	169	20.31	20.29	41
207	37.5	151	24.68	17.59	45
208	70	163	19.55	15.54	37
209	70	198.58	23.73	13.08	38
210	25	158.18	31.64	16.1	31



Şekil 2. Sahadaki patlatma ve ölçüm noktaları



Şekil 3. A-101 Galerisinde gözlenen hasarlar



Şekil 4. Ölçüm sonuçlarına göre çizilen PPV-SD grafiği

### 3 SONUÇLAR

Bu çalışmada, bir kömür açık işletmesinde yapılan patlatmaların, yakında bulunan bir yeraltı kömür ocağı üzerindeki etkileri incelenmiştir. İki ocak birbirine oldukça yakın olup aynı kömür damarında üretim yapılmaktadır. Üretim planlarına göre, ileriki dönemde bu mesafe 50 m'ye kadar düşecektir. Bu nedenle açık ocak patlatmalarının iyi planlanması ve kontrollü patlatmaların yapılarak yeraltı ocağının zarar görmesinin engellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla açık ocakta patlatma faaliyetlerinin başlamasından itibaren, yeraltı ocağında gözlemler yapılmış ve ocağın farklı noktalarından titreşim ölçerler aracılığı ile titreşim ölçümleri yapılmıştır. Yapılan gözlemlerde, patlatmalar sonucunda çalışanlarda psikolojik açıdan etkilenmelerin olabildiği ancak yeraltı ocağında ciddi hasarların oluşmadığı görülmüştür. Tespit edilen hasarlar, patlatma bölgesine en yakın galeri olan A-101 galerisinde, yan duvar ve tavandan küçük boyutlu kömür parçalarının düşmesi şeklindedir.

Titreşim ölçüm çalışmaları kapsamında 210 adet titreşim kaydı alınmıştır. Bu ölçümlerin büyük çoğunluğu açık ocağa en yakın yeraltı imalatı olan A-101 galerisinden yapılmıştır. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi neticesinde yapılan patlatmalarda oluşan titreşim değerlerinin USBM ve Türkiye'de geçerli olan hasar kriterlerinin altında kaldığı tespit edilmiştir. Ancak sonraki dönemde patlatma noktası

yeraltı imalatlarına daha da yaklaşacaktır. Bu nedenle yapılan patlatmalar ve elde edilen titreşim değerleri istatistiksel değerlendirmeye tabi tutularak, ilgili denklemler elde edilmiştir. Bu denklemler kullanılarak, sonraki patlatmalarda mesafeye göre kullanılacak gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarının tespit edilmesi mümkün olacaktır.

### Teşekkür

Yazarlar, çalışma boyunca sağladıkları olanaklardan ve yaptıkları katkılardan dolayı Garp Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü, Park Teknik A.Ş. İğdekuzu Yeraltı İşletmesi ve Güvensoy A.Ş.'ye teşekkür ederler.

### KAYNAKLAR

- Felice, J.J., 1993. Applications of modelling to reduce vibration and airblast levels. *Fourth International symposium on rock fragmentation by blasting*, 1993, Vienna.
- Tuncer, G., Kahrıman, A., Ozdemir, K., Guven, S., Ferhatoglu, A., Gezbul, T., 2003. The damage risk evaluation of ground vibration induced by blasting in Naipli Quarry. *Third international conference: modern management of mine producing, geology and environmental protection, SGEM-2003*, 67-75, Varna.
- Ozdemir, K., Kahrıman, A., Tuncer, G., Akgündogdu, A., Elver, E., Uçan, O.N., 2004. Fragmentation assessment using a new image processing technique based on adaptive neuro fuzzy inference systems. *Thirtieth annual conference on explosives and blasting technique*, vol II, pp 181-187, Louisiana, NO, USA.
- Uysal, Ö., Elevli, B., Akcakoca, H., 2004. Environmentally sensitive drilling and blasting design for a surface mining. *13th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, Wroclaw, Poland
- Uysal, Ö., Erarslan, K., Çebi, M.A., Akcakoca, H., 2008. Effect of barrier holes on blast induced vibration *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 45, 712-719.
- Erarslan, K., Uysal Ö., Arpaz, E. ve Cebi, M.A., 2008. "Barrier holes and trench application to reduce blast induced vibration in seytomer coal mine", *Environmental Geology*, 54, 1325-1331.
- Uysal, Ö. ve Cavus, M., 2013. "Effect of a pre-split plane on the frequencies of blast induced ground vibrations", *Acta Montanistica Slovaca*, 18, 101-109.



Singh, P.K., 2002. Blast vibration damage to underground coal mines from adjacent open-pit blasting. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 39, 959–973.

Singh, P.K., Roy, M.P., 2008. Damage to surface structures due to underground coal mine blasting: apprehension or real cause?. *Environ Geol*, 53:1201–1211

Singh, P.K., Roy, M.P., Paswan R.K., Dubey, R.K., Drebenstedt C., 2015. Blast vibration effects in an underground mine caused by open-pit mining *International Journal of Rock Mechanics&Mining Sciences* 80, 79–88.

Dowding, C.H., 1985. Blast Vibration Monitoring and Control”, *Prentice-Hall*, 297 sayfa, USA

# Maden İşletme Sahaları İçerisindeki Riskli Alanların Havza, Yağış ve Taşkın Analizleri ile Belirlenmesi: Hurman Çayı Örneği

## *A Sample for the Determination of Areas Having Flood Risk in Mining Operational Areas by Basin, Rainfall and Flood Analysis: Hurman Watercourse, Afşin/Elbistan*

T. E. Toptaş

*Teknik ve Eğitim Müdürü, Netcad Yazılım A.Ş.*

*Öğretim Görevlisi, Gazi Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Ankara*

S. Ural

*Öğretim Görevlisi, Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana*

**ÖZET** Maden işletmelerinin yer seçiminde dikkate alınması gereken başlıca risklerden birisi akarsu yataklarının yaratacağı taşkınlardır. Maden sahaları içerisindeki madencilik faaliyetleri planlanırken bu sahalardaki su toplama alanlarının ve bu alanların taşkın potansiyellerinin tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında Ülkemizin Elektrik Üretim A.Ş.(EÜAŞ) tarafından işletimine devam edilen en önemli linyit yataklarından birisi olan Afşin Elbistan Bölgesi'ndeki maden sahalarının içerisinde yer alan Hurman Çayı Havzası'ndaki taşkın analizi gerçekleştirilmiştir.

Maden işletme sahalarını içerisine alan Hurman Çayı Havzası; TAÜDEM algoritmasına göre modellenmiş, kümülatif akım değerleri ve harmonik değerler hesaplanmıştır. Farklı yağış frekanslarındaki akışlara göre taşkın debi hesaplamaları meteoroloji yağış istasyon verileri ve bu verilerin günlük toplam yağış değerleri baz alınarak birim hidrograf değerleri hesaplanarak; Mockus Hidrografına göre çalışma sahası için taşkın riski bulunan alan belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Afşin Elbistan Havzası, Taşkın Analizi, Birim Hidrograf, Nethydro, TAÜDEM, Mockus

**ABSTRACT** One of the most critic risks in site selection for mining operations is the potential of flood that could be realized in waterways. Determination of the catchment areas and the flood potential in mining areas is very important while planning the mining operations.

In this project, centennial flood analysis of Hurman Watercourse, which is in the mining operation areas operated by Directorate General of Electricity Generation Corporation (EÜAŞ) in Afşin, Elbistan one of the most important lignite reserve of Turkey, has been realized.

Cumulative flow and harmonic values have been calculated by modelling the Hurman Watercourse Basin that involves the mining operation areas through TAÜDEM algorithm. Hydrograph values are determined according to the flows in different rainfall frequencies as based on flood rate calculations, meteorology data and on the sum of daily rainfall values. Flood risky areas in Hurman Watercourse are determined by Mocus Hydrograph.

**Keywords:** Afşin Elbistan Basin, Flood Analysis, Unit Hydrograph, Nethydro

## 1 GİRİŞ

Maden sahalarına işletme izinleri verilmesi öncesinde doğal tehlike analizlerinin doğru yöntemlerle ve yeterince yapılmamasından dolayı çok sayıda can ve mal kaybı meydana gelmektedir. Hidrolojik analizler, maden sahaları için, bu kayıpların önüne geçilebilmesi adına yapılması gereken en kritik işlemlerdir.

İşletme izni sahası ve yakın çevresindeki su toplama havzalarının ve bu havzaların akış kollarının havza analizleri ile belirlenmesi; bu havzalara ilişkin yağış analizlerinin gerçekleştirilmesi; yağış analizi sonuçlarına göre işletmesine izin verilen sahalardaki taşkın riskine sahip alanların mekânsal olarak tespiti ve bu alanlarda gerekli önlemlerin alınarak madencilik faaliyetlerinin yürütülmesi can ve mal kayıplarının önüne geçecektir.

### 1.1 Proje Sahasının Tanıtılması

Bu çalışmada, ülkemizdeki en önemli linyit yataklarından birisi olan Kahramanmaraş Afşin Elbistan Bölgesi'nde halihazırda EÜAŞ tarafından işletimine devam edilen maden sahalarının içerisinde yer aldığı Hurman Çayı Havzası'ndaki taşkın analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Proje Sahası, Afşin/Elbistan

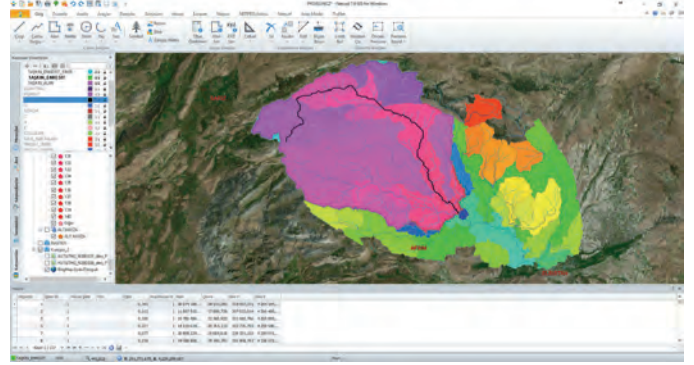
## 2 HAVZA YAĞIŞ VE TAŞKIN ANALİZLERİ METODOLOJİSİ

Maden sahası sektör alanları içerisinde belirlenen noktada Hurman Çayı ana ve alt havzaları modellenmiş; havzaya etki eden meteoroloji yağış istasyonlarının (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) sağladığı yağış verileri kullanılarak farklı yağış frekanslarına göre yağış analizleri yapılmıştır.

Yağış analizlerinden elde edilen veriler, proje alanı olarak belirlenen havzanın karakteristik, geometrik özelliklerine ve suyun hareket sürelerine göre en uygun birim hidrograf olan 'Mockus Birim Hidrografı'na göre taşkın debi hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

### 2.1 Havza Modellemesi ve Akış Ağlarının Belirlenmesi

Hurman Çayı üzerinde belirlenen koordinatta havza sınırları -hidrolojide sayısal yükseklik verileri üzerinde su toplama alanlarını ve bu alanlara ait akış kollarını modellemekte en başarılı algoritma olduğu kabul edilen-TAUDEM(Tarboton, 1997) algoritmasına göre oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Hurman Çayı Üzerinde Çalışma Sahasındaki Ana, Alt Havzalar ve Akış Kolları.

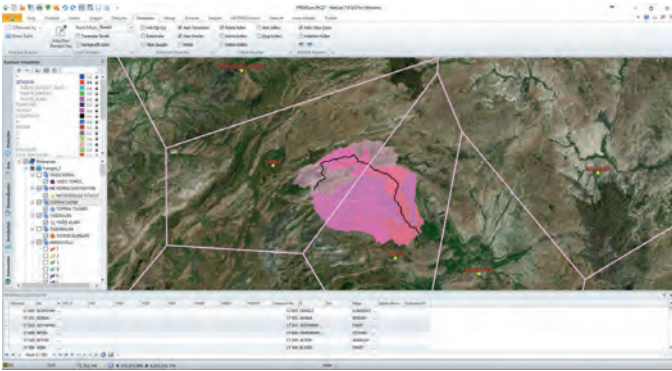
Çalışma sahasındaki havzalar, alt havzalar ve bu havzaları oluşturan akış kolları mekânsal olarak belirlenmiş; her bir akış kolundaki harmonik eğim değerleri hesaplanmıştır (Tablo 1).

Sıra No	H(m)	h(m)	$l = L / 10$ (m)	$l / h$
1.000	1145.608	15.755	5899.245	19.350
2.000	1187.838	26.475	5899.245	14.927
3.000	1219.201	31.363	5899.245	13.715
4.000	1257.083	37.882	5899.245	12.479
5.000	1308.223	51.140	5899.245	10.740
6.000	1348.411	40.188	5899.245	12.116
7.000	1423.474	75.063	5899.245	8.865
8.000	1547.825	124.351	5899.245	6.888
9.000	1660.882	113.057	5899.245	7.224
10.000	2510.165	849.283	5899.245	2.636
	1364.557	1364.557	S 1/S1/2	108.939

Tablo 1. Akış Kolları Harmonik Eğim Hesap Sonuçları

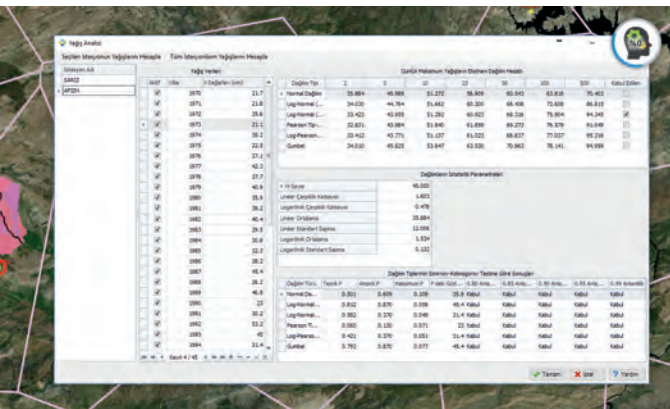
### 2.2 Yağış Analizleri

Hurman Çayı Havzası yağış analizleri için havza ve çevresinde yer alan meteoroloji istasyonlarına ait yağış verileri girdi olarak kullanılmıştır. Proje sahasına etki eden ‘Sarız’ ve ‘Afşin’ meteoroloji yağış istasyonlarının sağladığı verilerle yağışların alansal dağılımları Thiessen yöntemine göre belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Sarı ve Afşin Meteoroloji Yağış İstasyonları Alansal Dağılımları

Proje Sahasına etki eden meteoroloji istasyon verilerindeki günlük maksimum yağışlar kullanılarak farklı dağılım fonksiyonları üzerinden yağış analizleri gerçekleştirilmiş; analiz sonuçları Smirnov-Kolmogorov testine tabi tutularak havzadaki en uygun dağılım yönteminin ‘3 Parametrelili Log-Normal’ olduğu belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. İstatistiksel Yağış Dağılım Hesaplamaları ve Smirnov-Kolmogorov Testi Sonuçları

Günlük maksimum yağışların ekstrem dağılım hesabı 6 farklı dağılım tipi için 2, 5,

10, 25, 50, 100 ve 500 yıllık sürelerle göre hesaplanmıştır (Tablo 2).

AFSIN İSTASYONU GÜNLÜK MAKSİMUM YAĞIŞLARININ EKSTREM DAĞILIM HESABI

Tipi	2	5	10	25	
Normal Dağılım	35.884	45.989	51.272	56.909	
Log-Normal (2 Parametrelili)	34.030	44.764	51.662	60.200	
Log-Normal (3 Parametrelili)	33.423	43.955	51.292	60.923	
Pearson Tip-3 (Gama Tip-3)	32.831	43.984	51.840	61.859	
Log-Pearson Tip-3	33.412	43.771	51.137	61.023	
Gumbel	34.010	45.825	53.647	63.530	

Tipi	50	100	200	500	Edilen
Normal Dağılım	60.543	63.816	66.801	70.403	
Log-Normal (2 Parametrelili)	66.438	72.608	78.732	86.815	
Log-Normal (3 Parametrelili)	68.316	75.904	83.693	94.345	****
Pearson Tip-3 (Gama Tip-3)	69.273	76.579	83.814	91.049	
Log-Pearson Tip-3	68.837	77.037	85.690	95.316	
Gumbel	70.863	78.141	85.392	94.959	

DAĞILIM TİPLERİNİN SİMİRNOV-KOLMOGOROV TESTİNE GÖRE SONUÇLARI

Dağılım Tipi	Teorik P	Ampirik P	Maksimum P Dmax	P deki Gözlem Değeri
Normal Dağılım	0.501	0.609	<b>0.108</b>	35.900
Log-Normal (2 Parametrelili)	0.812	0.870	<b>0.058</b>	45.400
Log-Normal (3 Parametrelili)	0.582	0.370	<b>0.049</b>	31.400
Pearson Tip-3 (Gama Tip-3)	0.060	0.130	<b>0.071</b>	23.000
Log-Pearson Tip-3	0.421	0.370	<b>0.051</b>	31.400
Gumbel	0.793	0.870	<b>0.077</b>	45.400

Anlamlılık Yüzdeleri

**0.80    0.85    0.90    0.95    0.99**

Normal Dağılım	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Log-Normal (2 Parametrelili)	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Log-Normal (3 Parametrelili)	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Pearson Tip-3 (Gama Tip-3)	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Log-Pearson Tip-3	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Gumbel	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul

Tablo 2. Günlük Maksimum Yağışların Zamana Göre Ekstrem Dağılımları

### 2.3 Farklı Yağış Frekanslarına Göre Taşkın Debi ve Birim Hidrograf Hesaplamaları

Havzaların fiziksel özellikleri ve konsantrasyon sürelerine bağlı olarak her bir havzanın taşkın debi hesaplaması farklı hidrograf yöntemleri ile gerçekleştirilir.

Bu çalışmaya konu olan havzanın fiziksel özellikleri ve konsantrasyon süresi dikkate alındığında taşkın debi hesaplamaları Mockus Hidrografi'na göre gerçekleştirilmiştir. Havzaya etkisi en fazla olan Afşin meteoroloji istasyonunun kritik yağış süresine bağlı olarak plüviyograf katsayısı değeri 0.68; havzanın maksimize faktörü 0.208 olarak alınmıştır. Havzanın alanı ve 2 saatlik kritik yağış süresine bağlı olarak yağış alan dağılım katsayısı 0.715 olarak hesaplanmıştır (Tablo 3).

SÜRE	ARANAN ALAN Km2	YÜZDESİ %
30 dk	756.180	0.545
1 SAAT	756.180	0.649
3 SAAT	756.180	0.782
6 SAAT	756.180	0.842
24 SAAT	756.180	0.915

ARA SÜRELER	YÜZDESİ %	ARA SEVİYELER
1	0.649	
2	0.715	ARA SEVİYELER
3	0.782	
4	0.812	ARA SEVİYELER
5	0.839	ARA SEVİYELER
6	0.842	
8	0.860	ARA SEVİYELER
12	0.866	ARA SEVİYELER
18	0.890	ARA SEVİYELER
24	0.915	
Kritik Saat	6.00	

Tablo 3. Yağış Alan Dağılım Katsayı Hesaplamaları

Proje sahasına konu olan havzanın Mockus Hidrografi'na göre toplanma süresi 9.491 sa, hidrografın yükselme süresi 8.775 sa, hidrografın alçalma süresi 14.654 sa, toplam yağış süresi 23.429 sa ve bu değerlere göre pik debi 17.924 m<sup>3</sup>/mm/sn olarak hesaplanmıştır (Tablo 4, Şekil 5).

#### GİRDİLER

Havza ID:	6
Metod:	Mockus
Havza K Katsayısı:	0.208
(S) Harmonik Eğim	0.008
L (uzunluk) (m)	58992.450

(A) Havza Alanı (km<sup>2</sup>) 756.180

#### SONUÇLAR

#### MOCKUS

(Tc) Toplanma Süresi = 0,00032 (L0,77(m) / S0,385 )	9.491
(D) Yağış Süresi = 2*(Tc)1/2	6.161
(Tp) Hidrografın yükselme zamanı = 0,5D +0,6Tc	8.775
(Tr) Hidrografın Alçalma Süresi = Tr = 1.67 x Tp	14.654
(Tp) Yağış Süresi = Tp + Tr	23.429
(Qp) Pik Debi (m <sup>3</sup> /mm/sn) = K*A*ha/TP	17.924

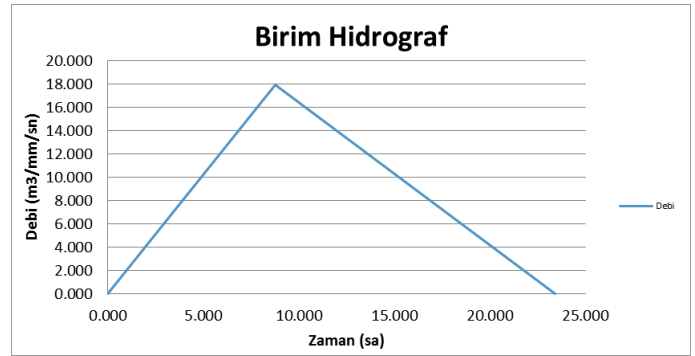
#### HESAP DEBİSİ (m<sup>3</sup>/mm/sn)

Kaç Yıllık Debi	100.000
Hesap Debisi (m <sup>3</sup> /mm/sn)	508.058

#### Hidrograf Süreleri

Zaman	Debi
0.000	0.000
8.775	17.924
23.429	0.000

Tablo 4. Mockus Hesap Sonuçları



Şekil 5. Mockus Hidrografi Grafiği

Mockus Hidrografi hesap sonuçlarına göre 2, 5, 10, 25, 50, 100 ve 500 yıllık taşkın pik debileri daha önce hesaplanan yağış alanı dağılım katsayısı, maksimize faktör, plüviyograf katsayısı değerleri ve havzanın karakteristik toprak özellikleri baz alınarak hesaplanmıştır (Tablo 5).

UYGULANAN YÖNTEM	T(Saat)	%	MF
Mockus	6.00	1	1.130
YADK	PLV	SON ÇARPIM	
0.842	0.880	0.837	

AKIŞ HESAPLARI	
S=((1000/ ENII ) - 10 ) * 25,4	
ENII =	83.000
S =	52.024
0,2S =	10.405
0,8S =	41.619
hakış=(P - 0,2S)2 / ( P + 0,8S )	

#### AKIŞ (mm)

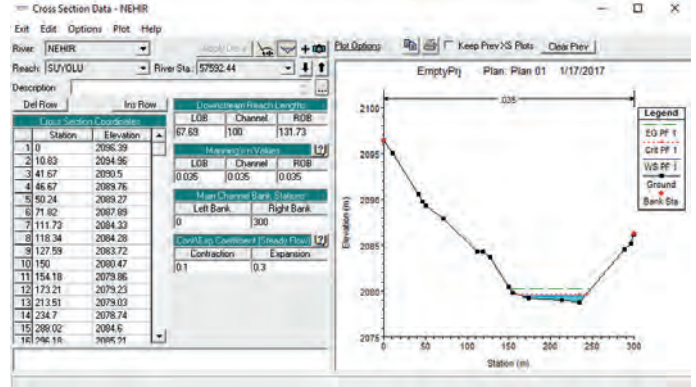
Q P=	17.924
K1=	0.208
Qp=	14.046
K2=	0.163
Q500	
m3/s	702.557

Q1000  
m3/s 786.315

ve soldaki taşkın sınırları ve bent sınırları gözlemlenmiştir (Şekil 7).

**Drenaj alanının 24 saatlik yağış yinelenme değerleri**

	2	5	10	25	50	100
	32.654	43.737	51.558	61.924	69.946	78.231
	27.344	36.625	43.174	51.854	58.572	65.510
	4.161	8.786	12.664	18.380	23.157	28.345
	74.576	157.487	226.991	329.446	415.061	508.058
	58.4	123.4	177.9	258.2	325.3	398.1



Şekil 7. Taşkın Enkesitleri

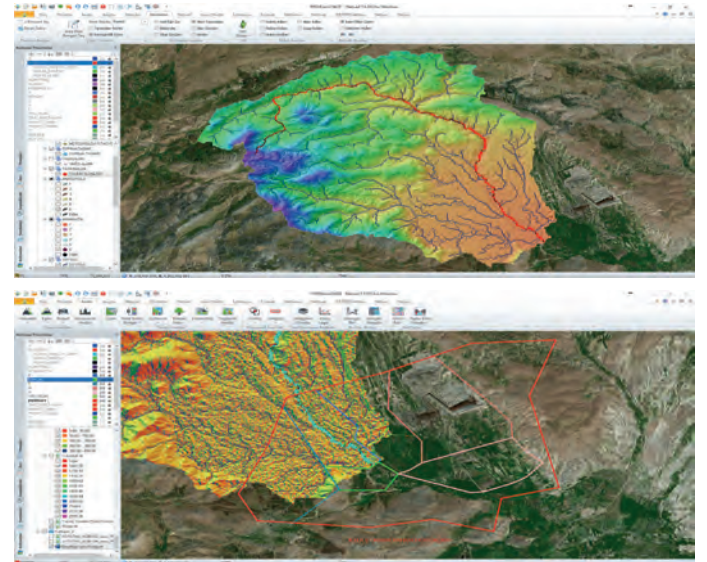
Tablo 5. Mockus Hidrografi'na Göre Hurman Havzasının Farklı Yağış Frekansları İçin Taşkın Pik Debi Hesap Sonuçları

## 2.4 Taşkın Açısından Tehlikeli Alanların Belirlenmesi

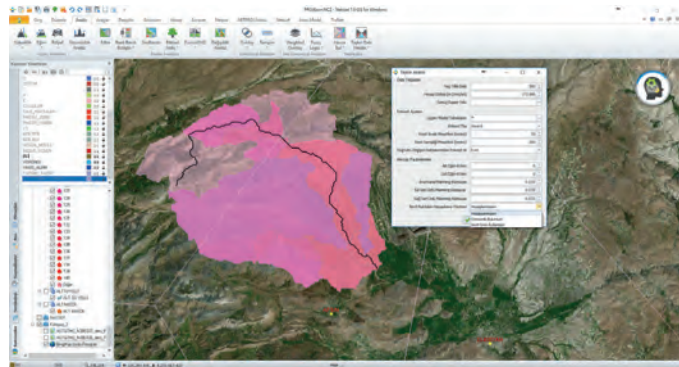
Proje sahasındaki havzanın akış kolu üzerinde taşkın sınırlarının belirlenebilmesi için 400 metrelik enkesitler 50 metre aralıklarla oluşturulmuş, taşkın yayılım alanları bu enkesitler üzerinde belirlenmiştir.

Akış koluna ait alt ve üst eğim değerleri ve bent sınırları Netcad/Nethydro yazılımı tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır (Şekil 6). Bu aşamadan sonra taşkın analizi taşkın pik debi değerleri belirlenmiş olan zaman aralıkları için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

İteratif olarak gerçekleştirilen havza, yağış, birim hidrograf ve taşkın pik debi hesaplamaları sonucunda oluşturulan taşkın enkesitleri baz alınarak taşkın yayılım alanları belirlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Taşkın Açısından Tehlikeli Alanlar



Şekil 6. Hurman Havzası 500 Yıllık Taşkın Analizi Parametreleri

Netcad Yazılım A.Ş. firmasına ait Netcad GIS programının Nethydro modülü ile tüm taşkın parametrik değerleri hesaplanarak oluşturulan taşkın enkesitleri HEC-RAS ortamına aktarılarak her bir enkesitin sağda

## 3 SONUÇ

Maden sahaları içerisindeki madencilik faaliyetlerinin planlanması öncesinde, bu sahalardaki topografik, hidrotopografik, hidrolojik ve çevresel analizlerin gerçekleştirilmesi ve bu analiz sonuçlarına göre riskli alanların belirlenmesi ile bu alanlarda gerekli önlemlerin alınarak madencilik faaliyetlerinin yürütülmesi insan hayatı ve doğal kaynaklarımızın korunması açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada maden sahaları için en kritik hidrolojik risklerden birisi olan taşkın

riskinin mekânsal olarak nasıl modellenebileceği konusunda bir yaklaşım ortaya koyulmuştur.

Taşkın analizleri, öncesinde birbirine bağlı ve iteratif olarak gerçekleştirilmesi gereken havza, yağış ve hidrograf analizlerinin yapılması ile mümkündür; taşkın analizine giden süreçte;

- i. Taşkın riskinin belirleneceği havza ve akış kollarının, hem geometrik hem de taşkın hesaplamalarına esas olan parametrik değerleri ile oluşturulması,
- ii. Havzaya etki eden yağış girdilerinin analiz edilmesi, sonuçların istatistiksel testleri ve bu testler sonucundaki farklı dağılım tiplerine göre farklı zamanlardaki yağış hesaplamaları,
- iii. Gerçekleştirilen yağış hesaplamaları ve havzanın karakteristik ve geometrik özelliklerine göre en doğru birim hidrograf yönteminin seçilerek taşkın pik debi değerlerinin hesaplanması

gibi analiz edilmesi son derece kapsamlı süreçlerin mekânsal ve sayısal ortamda birbirleri ile ilişkili olarak yapılması ve sonuçların taşkın analizine girdi olarak taşınmasını gerekli kılar.

Bu tarz analizlerin gerçekleştirilmesinde bilişim teknolojilerinin katkısı kaçınılmazdır. Çağdaş madencilik bilim ve teknolojisi madencilik faaliyetlerinin her aşamasında bilgi ve bilginin değerlendirilmesini sağlayan bilişim teknolojilerinin kullanılmasını gerektirmektedir.

# Üretilebilir Kömür Damarlarının Belirlenmesinde Sondaj Verilerinden Fay Süreksizliklerinin Modellenmesi Yaklaşımı

## *Determination of Fault Modelling Approach in Mineable Coal Seams*

M.E. Kılınç, E. Yalçın

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir*

**ÖZET** Günümüzde enerji ihtiyacı, dünyada ve Türkiye’de kömür üretimi ve tüketimi artmaktadır. Linyit ve diğer kömür rezervlerinin optimum biçimde kazanılması bu nedenle büyük önem arz etmektedir. Kömür rezervlerinin üretim öncesi çalışmalarında genel jeolojik ve jeofizik çalışmalarla varlığı ortaya konulmaktadır. Devam eden süreçte sınırlarının belirlenmesi amacıyla sondaj çalışmaları yapılmakta ve sahadaki rezerv görünür duruma getirilmektedir. Bu çalışmalar sırasında kömürsüz seviye giriş-çıkış kotlarının eğim değişimi kömürlü seviyenin yatay yöndeki devamlılığı açısından yol gösterici olmaktadır. Bu çalışmada Soma Bölgesi Eynez havzasında açık işletme kazı çalışmalarıyla belirgin hale gelmiş fay düzlemlerinin kömürlü seviye üzerindeki uzantısı tespit edilmiştir. Bu sayede ön çalışmalarda konumu yaklaşık olarak belirlenebilen fay düzlemlerinin üretime yönelik net konumunun belirlenmesi aşamaları tanıtılmıştır. Ön çalışmalarda belirlenemeyen düşük atımlı fay düzlemlerinin kazı çalışmalarıyla belirgin hale gelmesi ve bunların kömürlü seviyedeki uzantılarıyla konumlarının net tespit edilmesi bildiride ele alınmıştır. Kömür üretim projeleri bu aşamalarla belirlenen fay konumlarıyla güncellenebilir ve işletilebilir net kömür belirgin hale getirilebilir.

**ABSTRACT** Nowadays the need for energy and correspondingly for both Turkey and world consumption and production of coal is increasing. Therefore, optimum production of lignite and other coal reserves greatly matters. At the preproduction studies of coal reserves, their existence is determined both geologically and geophysically. In the continuing stage, drilling process is carried out to characterize coal borders, and the reserve in the field becomes clarified. During these studies, slope change of entry-exit altitudes of the non-coal level becomes a guideline to detect horizontal continuity of coal reserve. In this study, fault planes’ offset above the coal reserve, which is in Eynez basin of Soma region, was confirmed with open pit mining process. Thus, the production oriented stages that are aimed to identify fault planes which can be determined approximately in the prestudies are introduced. In addition, Low-slip fault planes which can not be determined by prestudies are discussed and their locations with offset on the surface are also addressed in this study. Coal production projects can be updated with these stages, which determine fault locations, and minable net coal reserve can be made distinct.



## 1 GİRİŞ

Önceki yıllara bakıldığında Türkiye’de linyit kömürü üretimi, 2013 yılında 57,5 milyon ton, 2014 yılında ise %8,9 artarak 62,6 milyon tona ulaşmıştır (ETKB/EİGM 2016a). Gelecekte de enerji kaynakları arasında önemini koruyacak olan kömürün; ekonomikliği, fiyat istikrarı ve katma değer fazlalığı ile önemli bir enerji kaynağı olduğu görülmektedir.

Kömür rezervlerinin işletmeye alınması öncesi gerçekleştirilen işlemler temel madencilik bilim ve teknolojisinde uygun şekilde gerçekleştirilmektedir. Öncelikle ön jeolojik çalışmalar ile muhtemel kömür havzaları tanımlanmakta devam eden süreçte diğer yerbilimleri çalışmalarıyla havza özellikleri ortaya konulmaktadır. Varlığı jeolojik olarak ortaya konulmuş bir kömür rezervinde işletmeye yönelik sondaj çalışmaları yapılmaktadır. Sondaj çalışmalarının amacı madencilik tekniği ve teknolojiyle işletilebilir kömür rezervinin ortaya konulması ve devam eden ekonomik değerlendirme ana parametrelerinin belirlenmesidir. Diğer taraftan bir çökeltme havzasında jeolojik süreçler sonucunda oluşan kömür madeninde tabakalı yapıların devamlılığının karakterize edilmesi gerekmektedir. Kazı çalışmaları öncesi jeolojik incelemeler ile genel olarak saha tektoniği ortaya konulabilse de özellikle yüzeyde görünmeyen ama madencilik tekniği açısından üretilmesi mümkün olmayan süreksizlikler işletilebilir kömür damarı miktarı üzerinde önemli etkiye sahiptir.

İşletilebilir kömür rezervinin belirlenmesinde bir diğer önemli husus ise işletilebilir kalınlığa karar verilmesidir. Özellikle linyit kömürü damarları jeolojik zamana ve ortam şartlarına bağlı olarak çoğu zaman değişken kalınlıklarda istiflenmektedir. Tek bir kömür damarı kalınlığının oluşması ideal bir durum kabul edilmekle birlikte çeşitli kalınlıkta ara kesmelerle ayrılmış birden fazla kömürlü zon söz konusudur. Düşey yönde kısa mesafeli

değişkenlikler işletilebilir kalınlığın belirlenmesini zorlaştırmaktadır.

Jeolojik çalışmalarla ve sondaj çalışmalarıyla varlığı ve boyutları ortaya konulmuş bir kömür rezervinin madencilik tekniği ve teknolojisi açısından işletilebilir miktarının belirlenmesi çalışmaları mevcut durumda iki aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir.

- Birinci aşamada her sondaj için ara kesme kalınlıkları ve kömür kalınlıkları ortaya konularak işletilebilir kalınlığın belirlenmesidir. Bu aşamada kömürün alt ısı kalori değerleri ve üretim yöntemine bağlı olarak kazı makinasının seçici minimum kazı kalınlığı belirleyici olmaktadır. Bu yaklaşımla kömürlü seviyeler birleştirilir veya ayrılır.

- İkinci aşama ise kömür rezervinin yatay yönde devamlılığının ortaya konulmasıdır. Özellikle kazıcı makinaların çalışma eğimleri açısından belirleyici olan bu aşamada kömürün yatay sürekliliğini bozan yapıların karakterize edilerek ortaya konulması gerekmektedir. Yeraltı kömür madenciliğine uzun ayak yöntemi söz konusu olduğunda çalışma yönleri ve pano boyutlarının belirlenmesinde doğrudan etkili olan yatay devamlılık açık işletme madenciliğinde ise kazı şevleri açısından etkili olmaktadır. Kömür rezervlerinde yatay yönde süreklilik oluşum öncesi veya sonrasında meydana gelen tektonik olaylarla gelişmiş faylar tarafından kesintiye uğradığı bilinmektedir. Bu durumda üretime yönelik projelendirilen bir kömür rezervinde faylar konumlarıyla net olarak ortaya konulması gerekmektedir.

Bu çalışmada kazı öncesi jeolojik çalışmalarda yüzeyde gözlenemeyen fayların sondaj verilerden yorumlanarak ortaya konulmasıyla ilgili değerlendirme yapılmıştır. Örnek olarak Soma Eynez havzasında faylı bölge sondaj çalışmaları değerlendirilmiştir.

## 2 İŞLETİLEBİLİR KÖMÜR MODELLEME TEKNİKLERİ

Bilinen rezerv hesaplama teknikleri işletilebilir rezerv belirleme çalışmasının ilk aşamasını oluşturmaktadır. Bu çerçevede geometrik yöntemler, mesafeye bağlı yöntemler ve jeostatistik yöntemler maden yataklarının modellenmesinde kullanılan başlıca interpolasyon yöntemleridir.

### 2.1 Geometrik Yöntemler

#### 2.1.1 Üçgen yöntemi

Bu yöntemde sondajlar birleştirilerek üçgenler oluşturulur. Oluşacak üçgenlerin eşkenar üçgene yakın veya en azından dar açılı olmasına dikkat edilmelidir. Oluşan üçgen alanı gerçek olarak hesaplandıktan sonra ortalama kalınlık ile alan çarpımı sonucu hacim ve sonrasında saha için kabul edilen kömür yoğunluğu ile hacim çarpımı sonucu tonaj elde edilir. Bu yöntem genelde yatay, yataya yakın ve sedimanter tip yataklarda başarı ile uygulanmaktadır.

#### 2.1.2 Poligon yöntemi

Üçgen yöntemine benzer şekilde planda dar açılı üçgenler oluşturulduktan sonra, üçgenlerin kenarortay dikmeleri çizilerek poligonlar meydana getirilir ve sondajın etki alanı ortaya çıkar. Her bir alan ağırlıklı kalınlık ile ve ardından yoğunluk ile çarpılarak tonaj elde edilir. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken, düzensiz sondaj dağılımında hesaplama hatalarının poligon boyutlarına bağlı olarak değişkenlik göstermesidir (Bumin 2003).

### 2.2 Mesafeye Bağlı Yöntemler

#### 2.2.1 Mesafelerin tersi yöntemi

Mesafelerin tersi yöntemi sondajların birbirleri ile olan ilişkilerini, aralarındaki mesafeyle tanımlayarak bir fonksiyon olarak verir. Buna göre oluşturulan bloklara değer atanabilmesi için o nokta etrafındaki

sondajların etki ağırlıklarının bilinmesi gerekmektedir.

#### 2.2.2 Jeostatistiksel yöntem

Jeostatistiksel yöntemde ilk olarak sondaj değerlerinin istatistiksel incelemesi yapılır. Sonrasında maden yatağının iki veya üç boyutlu variogram analizleri yapıldıktan sonra sondajların birbirleri ile olan ilişkileri incelenerek yatağın değerlendirilmesinde temel alınan değerlerin mesafeye bağlı değişimi matematiksel olarak modellenir. Bu incelemelerden sonra, saha düzenli bloklara ayrılmakta ve elde edilen variogram parametreleri kullanılarak bu bloklara değer ataması yapılmaktadır (Rendu ve Marhieson 1990).

Yukarıda verilen yöntemlerin tamamında kömür damarı giriş ve çıkış seviyeleri ayrı ayrı ele alınmakta ve matematiksel yaklaşımlarla devamlı kabul edilmektedir. Ancak gerçek durumda kömür damarlarının devamlılığı neredeyse her durumda faylarla sınırlanmaktadır. Durumun incelenmesi bu bildiri içerisinde ele alınmıştır.

## 3 ÖRNEK UYGULAMA

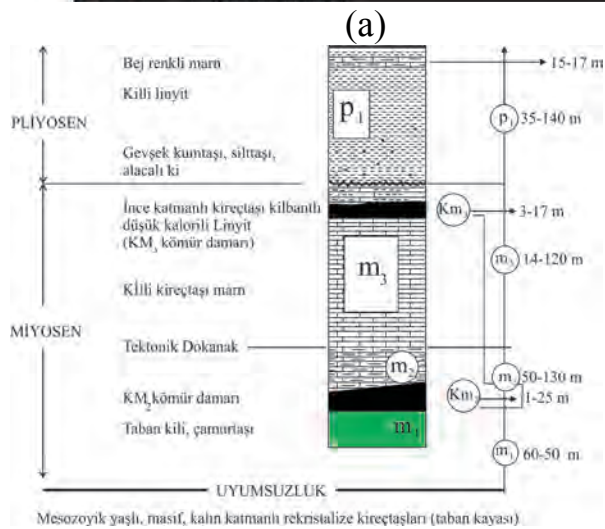
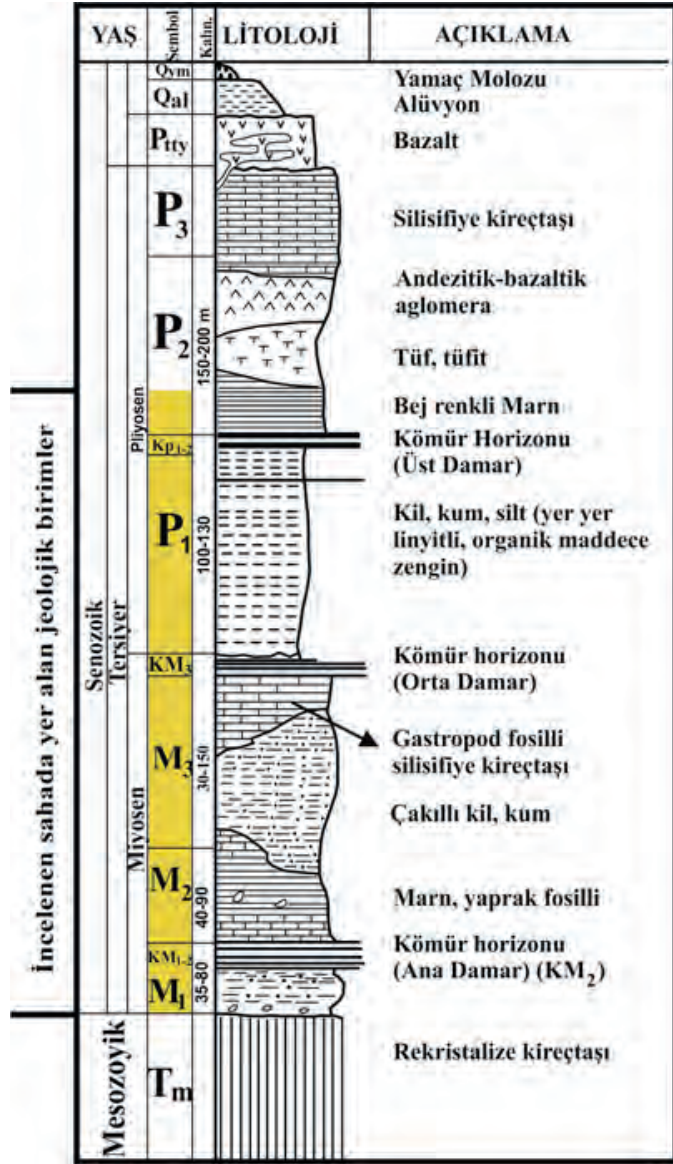
İncelenen örnek saha Soma havzasında yer almakta olup, havza genelinde gözlenen jeolojik birimler örnek saha sondaj çalışmalarında ve saha çalışmalarında da gözlenmiştir. Genel olarak aşağıda verilmektedir.

### 3.1 Sahanın Jeolojisi

Sahada; Mesozoyik yaşlı re-kristalize kireçtaşı (temel), Miyosen ve Pliyosen yaşlı tortul kayaların yanı sıra, Kuvaterner yaşlı yamaç molozları ve hareket etmiş heyelan malzemeleri yer alır.

Yaşlıdan gence doğru bu birimler; kireçtaşı bantlarını içeren mavimsi gri marnlar (M<sub>2</sub>) kilitaşı-kumtaşı ara seviyelerini içeren bej renkli, gastropoda fosilleri içeren kireçtaşları (M<sub>3</sub>), grimsi yeşil renkli kilitaşı ve serisit pullu kumtaşlarından oluşmuş (P<sub>1</sub>), marn-tüf-

tüfit ardalanmasından oluşan birim ( $P_{2ab}$ ) ve tüm bu birimleri uyumsuz olarak üstleyen tüf, andezitik bazalt bileşimli aglomeralardan oluşmuş örtü volkanitleridir (Şek. 1a, b).



Şekil 1. (a) İnceleme alanı ve yöresinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti. (b) Haritalanan alanın stratigrafik kolon kesiti.

### 3.1.1 P<sub>1</sub> formasyonu (yeşil kiltası, serizitli kumtaşı)

Genellikle mavimsi grimsi yeşil, alacalı kiltası, serisit pullu kumtaşı ve gevşek çimentolu ince taneli kumtaşlarından oluşur.

### 3.1.2 M<sub>1</sub> formasyonu (taban çakıltası)

Pas renginde ayrışma yüzeyli, kahverengi ile mavimsi gri renkli taze yüzeyli ve üste doğru tane incelmelidir.

M<sub>1</sub> formasyonunun tavanı, dereceli olarak kömür damarına geçiş gösterir. KM<sub>1-2</sub> kömür damarı genel olarak tüm Soma Havzası'nda işletilebilir rezervin büyük bir kısmını oluşturan ana damardır. KM<sub>1-2</sub> kömür damarı havzanın kuzey kesimlerinde ortalama 5-10 m, orta kesimlerde Eynez Köyü'nün batısında 25 m ve en güneyde 15 m kalınlığa sahiptir.

### 3.1.3 M<sub>2</sub> formasyonu

M<sub>2</sub> formasyonuna ait litoloji genel olarak marndır. Bunun yanı sıra kireçtaşı bantları ve marn kireçtaşı arasındaki geçiş birimi olan marn kalkerlerini gözlemek mümkündür. Mavimsi gri renkli, orta sertlikte, kırılğan, sıkı ve çok ince tanelidir. Bol miktarda yaprak fosili içerir, düzenli ve çok iyi tabakalanmalıdır. Tabaka kalınlıkları laminadan 1-2 m kalınlığa kadar değişebilmektedir. M<sub>2</sub> marnının alt dokanağı KM<sub>1-2</sub> kömür damarı ile uyumludur.

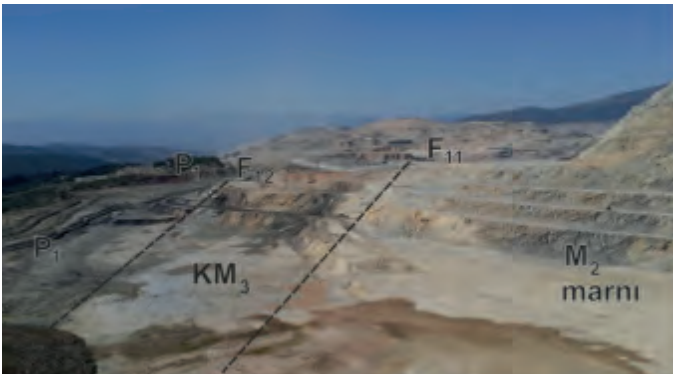
### 3.1.4 M<sub>3</sub> formasyonu (kireçtaşı / killi kireçtaşı)

M<sub>3</sub>-formasyonuna ait kireçtaşları bej renkli, sert afanitik dokudadır. Bol çatlaklıdır, çatlaklarda kalsit dolguları gözlenir. Kireçtaşları içerisinde yer yer oldukça önemli kalınlıklara erişebilen kil düzeyleri yer alır. Bu killi düzeyler plastik

özelliğinde yeşilimsi, alacalı renklidir ve bazen çakıllıdır.  $KM_3$  kömür damarı (Orta Linyit Üyesi) genel olarak  $M_3$  formasyonunun üst kısımlarında kireçtaşı içerisinde yer alır.

### 3.2 Faylar

Örnek olarak incelenen sahada açık işletme basamaklarında gözlenen fayların konumları harita üzerine işlenmiştir. Faylı bölgelerde ve sahanın genelinde tabaka konumları değişim ölçümlerle ortaya konulmuştur. Burada belirtmek istenilen konu açık işletme basamakları oluşturulmadan önce gözlemlenemeyen fayların kazı çalışmalarıyla belirlenebilir duruma gelmesidir. Bu çerçevede kuzey-güney ve doğu-batı doğrultulu birbirine paralel 12 adet fay belirlenmiştir. Bunlardan 12 nolu fay bu bildirinin konusu amacıyla ve çalışma bu çalışma için belirlenen bölgede  $F_{11}$  fayının doğusunda sondaj verisi bulunmaması nedeniyle özel olarak incelenmiştir.  $F_{12}$  olarak adlandırılan bu fay kuzey-güney doğrultulu temel fayına koşut gelişmiş farklı tektonik rejim etkisi altında eğim atımlı normal ya da ters fay karakteri kazanmış olduğu belirlenmiştir.  $F_{12}$  no'lu fay K15B / 75-80KD konumundadır.  $F_{12}$  nolu fayın arazi gözlem görüntüsü Şekil 2'de verilmektedir.

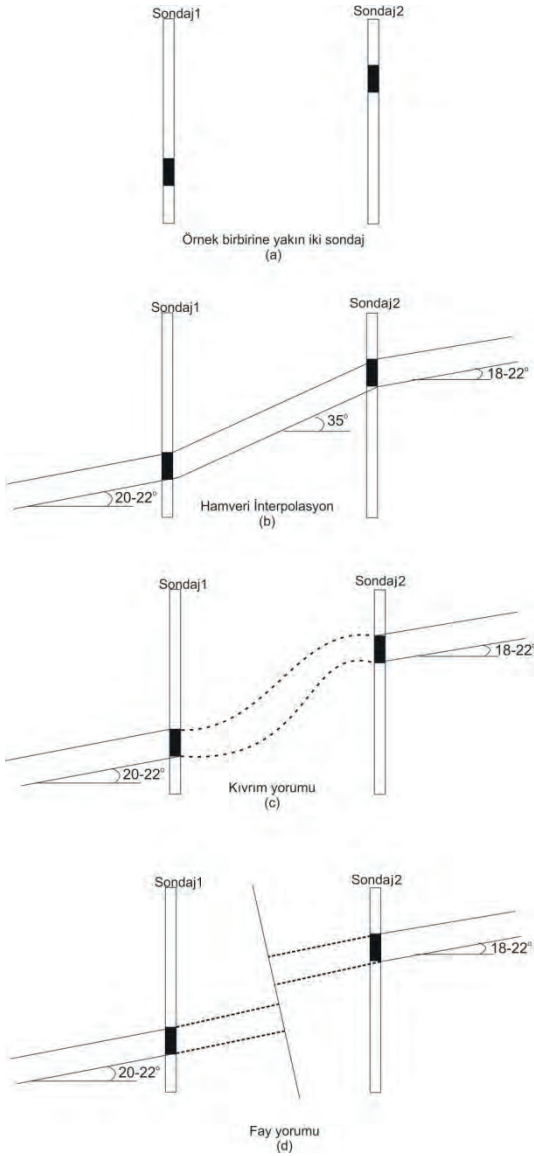


Şekil 2.  $M_2$ -marnı,  $M_3$ -kireçtaşı ve  $P_1$  formasyonunun ilişkisi.

### 4. Sondaj Verilerinden Fay Konumu Belirlenmesi Çalışması

Temel olarak tabakalı jeolojik birimlerin yatay yöndeki devamlılığı sondaj verilerindeki tabaka üst seviyesi veya tabaka alt seviyelerinin birleştirilmesiyle oluşturulur. Üretilen damara yönelik olarak yapılan çalışmalarda ise referans seviye olarak üretilecek tabaka baz alınmaktadır. Bu durumda incelenen kömür damarı için sondaj verilerinde kömürleşmenin başladığı giriş seviyesi ve çıkış seviyesi yukarıda verilen interpolasyon tekniklerinin birisiyle yüzey haline getirilebilir. Kullanılan interpolasyon tekniklerinin hangisinin kömür yüzeyini gerçeğe daha yakın temsil ettiği ayrı bir değerlendirme konusu olmakla birlikte üç interpolasyon tekniğinde de kömür giriş yüzeyi veya kömürün çıkış yüzeyi eğim değişimi bilgisi bulunmaktadır. Şekil 3'de şematik olarak konu açıklanmaya çalışılmıştır. Şekil 3a'da yan yana konumda bulunan farklı seviyelerde kömür zonu kesmiş iki sondaj verilmiştir. Şekil 3b'de interpolasyon tekniğiyle kömür giriş ve kömür çıkış seviyesi birleştirilmiş görüntüsü verilmiştir. Sahaya ait diğer sondajlarda oluşturulan yüzeyin eğim değişiminin  $18-22^\circ$  arasında iken şematik olarak verilen iki sondaj arası eğim değişimi  $35^\circ$  olduğu varsayılmıştır. Bu durumda iki sondaj arası  $18-22^\circ$  olan eğim değişiminin sabit olmadığı bu iki sondaj arasında tabakanın yatay yönde devamlılığını değiştiren jeolojik yapı olduğu kabul edilmektedir. Tabakalı yapılarda devam etmeyen eğim değişimleriyle anomali oluşturan bölgeler jeolojik olarak kıvrım veya fay süreksizliğine işaret etmektedir. Şekil 3c'de iki sondaj arası kıvrım yorumu, Şekil 3d'de fay yorumu şematik olarak gösterilmiştir. İşletilebilir rezerv açısından değerlendirildiğinde bu iki sondaj arasındaki jeolojik yapının konumunun belirlenmesi önem arz etmektedir. Yüksek atımlı fayların ön jeolojik incelemede veya jeofizik çalışmalarda konumu net olarak ortaya

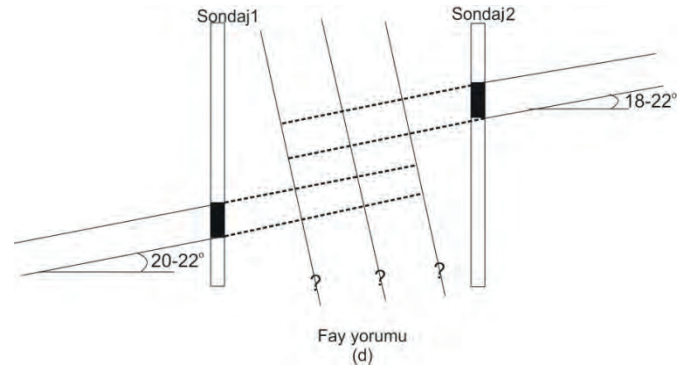
konulabilse de özellikle kalın kömür damarlarında damar kalınlığının iki katı ve daha az mesafelerdeki atımların bu tür çalışmalarla ortaya konulması oldukça zor ve maliyetli saha ölçümleri gerektirmektedir.



Şekil 3. Sondaj verilerinden kömürlü seviye yorumları.

İşletilebilir kömür damarının belirlenmesinde fay konumlarının tespit edilmesi amacıyla eğim değişimlerinden yararlanılarak yüksek eğimli bölgeler faylı veya kıvrımlı olarak yorumlanır. Bu bölgeler yatay yönde süreksizlik değişimlerinin olduğu ve madencilik tekniği açısından üretimin zor olduğu hatta üretilemeyecek bölgeler olarak yorumlanır. Bu çalışmalarda belirsiz olan bir başka durum ise fay süreksizliği olarak yorumlanan bölgenin genişliği ve/veya tam konumudur. Diğer bir ifadeyle iki sondaj arası yatay yönde eğim değişimleriyle

süreksizlik tespit edilmiş bir bölgede süreksizlik iki sondajın arasından veya birinci sondaja yakın veya ikinci sondaja yakın geçebilir. Bu durum Şekil 4'de ifade edilmeye çalışılmıştır.

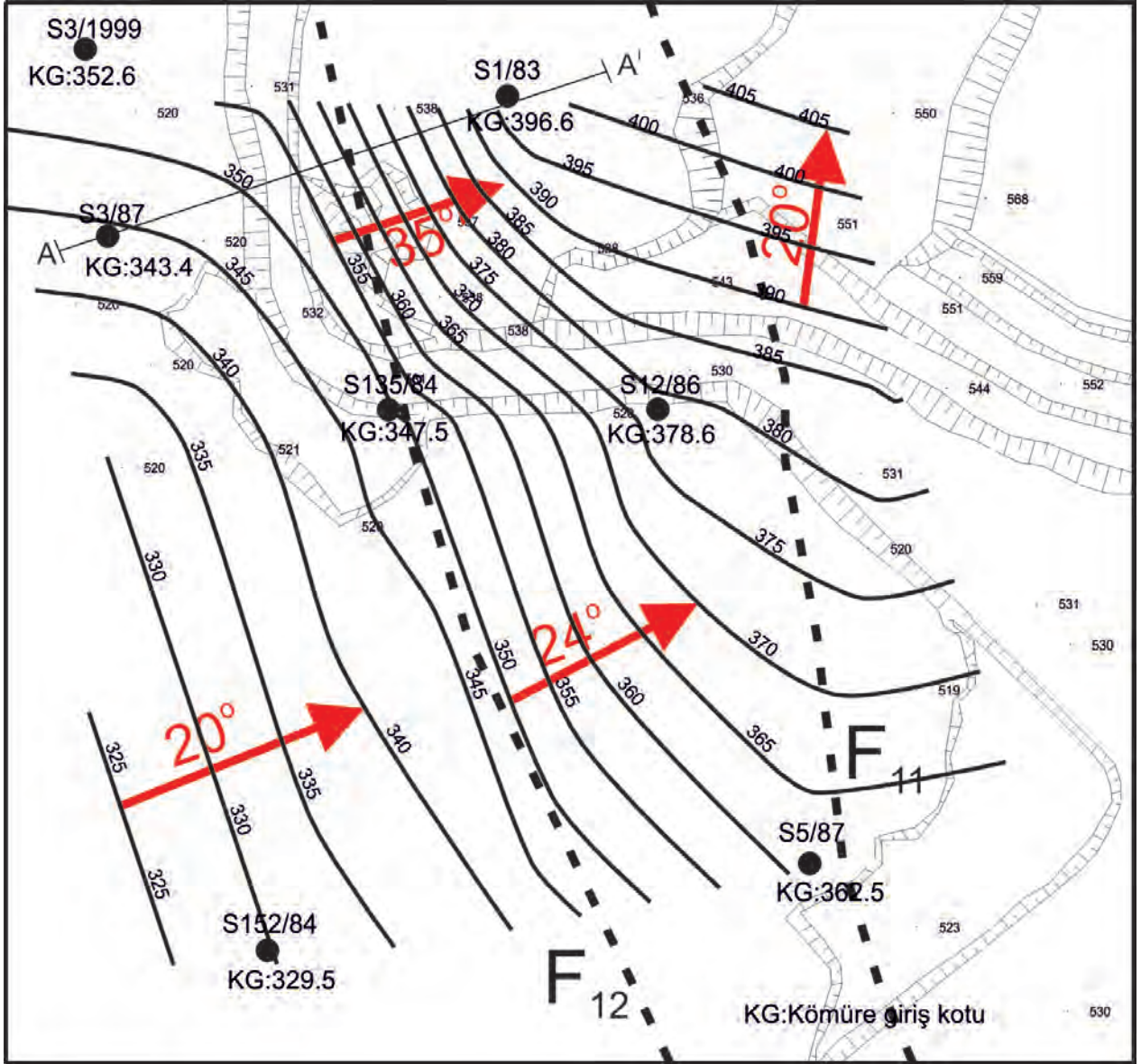


Şekil 4. Fay konumu belirsizliği şematik anlatımı.

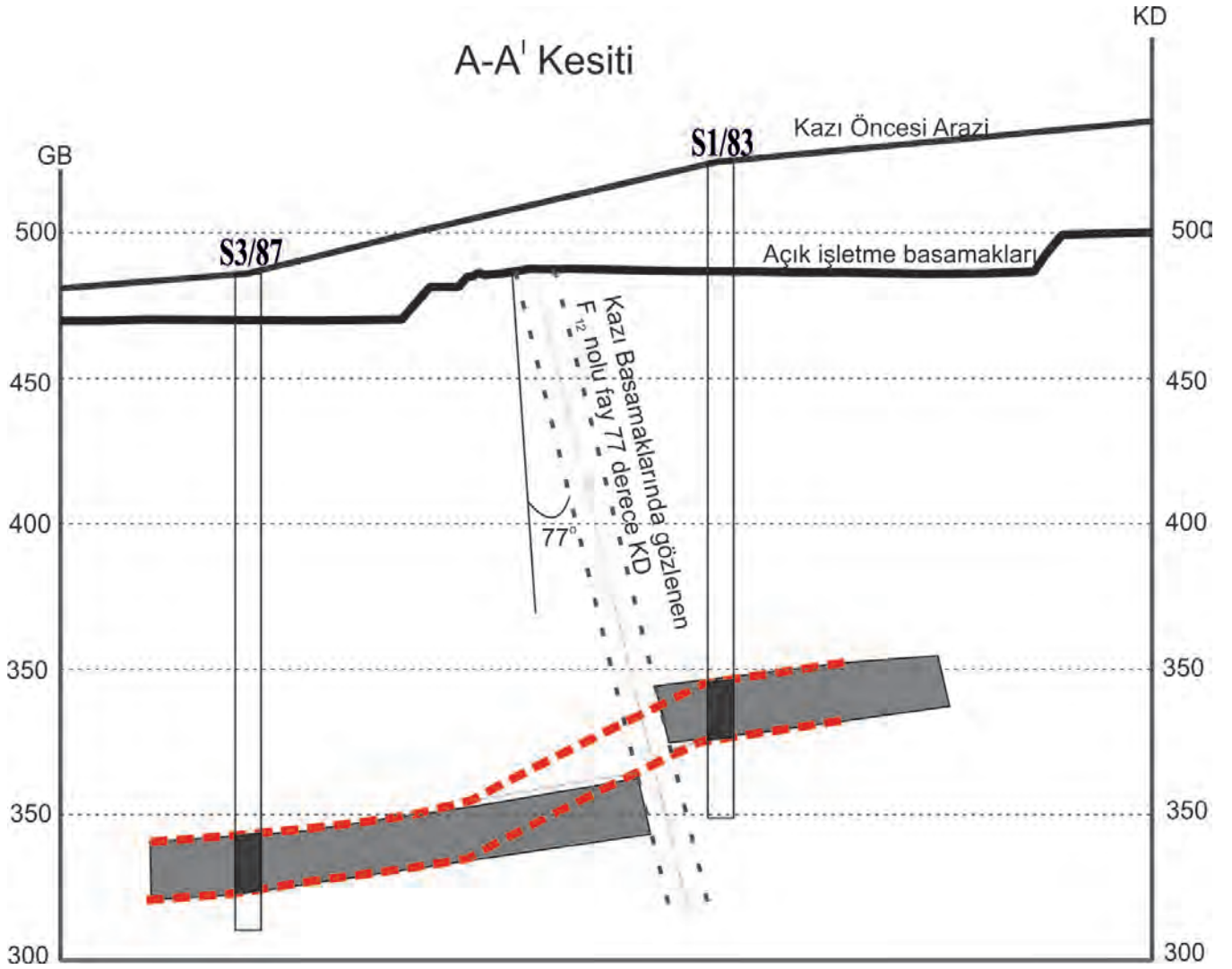
Bu bildiriye fayın konumunun belirlenmesiyle ilgili değerlendirme verilmiştir. Yukarıda verilen yaklaşımla Şekil 2'de verilen açık işletme basamaklarında gözlenen  $F_{12}$  nolu fayın çevresindeki sondajlar değerlendirildiğinde kömüre giriş seviyesi eğim değişimi Şekil 4'de görülmektedir. Şekil 4'de görüldüğü gibi incelenen bölgede genel olarak  $20^\circ$  olan kömüre giriş seviyesi eğimleri sahada gözlenen  $F_{12}$  fayı konumunda artış göstermekte bölgesel olarak  $35$  derecelere ulaşmaktadır. Kazı öncesi arazide gözlenmesi mümkün olmayan bu fayların açık işletme basamakları oluşturulduktan sonra belirginleşmesi kömürlü seviyede fayın tam konumunun belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Yapılan arazi çalışmasıyla fayın belirgin yüzeyinde doğrultusu ve eğimi ölçülebilir. Örnek olarak verilen çalışmada  $F_{12}$  nolu fayın doğrultusu K15B eğim yönü KD ve  $77$  derece olarak ölçülmüştür. Bu veriden hareketle Şekil 5 üzerinde gösterilen A-A' kesit hattı üzerinde fayın yüzeyindeki konumdan  $77^\circ$  kömürlü seviye doğrultu indirildiğine kömürlü seviye üzerinde fayın tam konumu belirlenmiş olur. Sondajları ham verilerinde interpolasyon teknikleriyle birleştirilmesi sonucu oluşturulan giriş

seviyesi kontur haritasından S3/87 ve S1/83 sondajlar arasında 35 dereceye çıkan eğim değişimi fay süreksizliğine işaret etmektedir. Benzer eğim değişimleri doğu batı ekseninde değerlendirildiğine S135/84 ile S12/86 ve S152/84 ile S5/87 sondajları arasında da gözlenmektedir. Burada açıklayıcı olması açısından S3/87 ile S1/83 sondajları doğrultusunu içeren hat boyunca oluşturulan

A-A' kesit hattı oluşturulmuştur. Bu yorumla A-A' kesit hattında fayın yüzeyde gözlenen konumundan derindeki kömürlü seviyeye belirlenen açılarla geometrik analiz yapıldığında tam konumu belirlenebilir. Şekil 6'da A-A' kesiti üzerinde fay konumunun belirlenmesi ve yorumlanmış kömür damarı görüntüsü verilmektedir.



Şekil 5. İncelen bölge sondaj verilerinden kömür giriş seviyesi eş yükselti eğrisi eğim değişimi, sondajların konumu ve F<sub>12</sub> nolu fayın yüzeyde gözlenen konumu.



Şekil 6. A-A' kesit hattı, yüzeyde gözlenen fay konumundan kömüre giriş seviyesi fay konumunun belirlenmesi.

## SONUÇLAR

Bir kömür rezervinin başarılı bir şekilde ortaya konulabilmesi ön jeolojik/jeofizik çalışmalar ve devamında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarının kömürün oluşum mekanizmasını kapsayan ayrıntılı analiz çalışmalarını kapsamaktadır. Özellikle kömür damarının üretilmesine yönelik yöntemi seçimi için belirleyici olan kömürlü seviyenin düşey ve yatay yöndeki konumu net olarak ortaya konulabilmelidir. Bildiri içerisinde de verildiği gibi yeraltı madencilik yöntemiyle üretilmesine karar verilmiş bir kömür damarında kömürlü seviyenin eğim değişimleri oluşturulacak pano boyutlarını ve yönlerini denetlemekte toplamda ise ocak yayılımını belirlemektedir. Benzer şekilde açık işletme madencilik yönteminde ise kömürlü seviyenin eğimi değişimi açık

işletme taban kotunu, açık işletme genel şev açısını ve en önemlisi havza temeli kısımlarında kazı emniyetini belirlemektedir. Bu çerçeveden değerlendirildiğinde kömürlü seviyelerin yatay yöndeki devamlılıkları kıvrımlar ve/veya fay süreksizlikleriyle değişebilmektedir. Kömür rezerv çalışmaları sırasında genellikle bitki örtüsü ve organik toprakla kapalı olan arazi üzerinde fayların ve/veya kıvrımların jeolojik gözlemlerle ortaya konulması çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Ancak bölgeyi karakterize eden temel faylar ortaya konulabilmektedir. Bu çalışmada yüzeyde kazı öncesi tespit edilememiş ancak açık işletme kazı basamaklarıyla belirgin hale gelmiş fay süreksizliklerinin yüzeyden kömürlü seviye üzerindeki konumu analiz edilmiştir. Bu sayede ön çalışmalarda sondaj verilerinde fay veya kıvrım olarak analiz edilmiş

süreksizliğin kömürlü seviye üzerindeki tam konumu ortaya konulmuştur.

Soma bölgesi Eynez havzasında yapılan çalışmada açık işletme kazısı sırasında belirgin hale gelmiş ve bildiri içerisindeki tanımıyla F<sub>12</sub> olarak adlandırılan fayın iki sondaj arasındaki konumu belirlenmiştir. Bu sayede sondaj verilerinde konumu yaklaşık olarak belirlenebilen fay atımlarının kömürlü seviye üzerindeki net konumu ortaya konulabilmekte ve üretim planları belirlenen net konum ile revize edilebilmektedir.

Açık işletme veya yeraltı madencilik yöntemiyle kömür üretimi yapılan işletmelerde kazı çalışmaları sonucu belirgin hale gelen fay yüzeylerinin saha ölçümleri ve bunların kömürlü seviyelerdeki uzantılarının geometrik analizlerle ortaya konulması mümkündür. Bu sayede projeler revize edilebilir ve proje başlangıcında belirsiz olan fay süreksizliklerin konumu net olarak ortaya konulabilir. Bildiri bu yaklaşımla ele alınmış olup örnek uygulamayla bir fayın uzantısı kömürlü seviye üzerindeki konumu tespit edilmiştir.

Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, (s.2-17).

ETKB/EİGM (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı/Enerji İşleri Genel Müdürlüğü), 2016a, 2014 Yılı Genel Enerji Dengesi – Orijinal Birimler, ETKB/EİGM Web Sitesi: <<http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları>>, Erişim tarihi:01.02.2017.

Rendu, J, Marhieson, G, Kennedy, B.A.(ed.), 1990. Statistical and Geostatistical Methods, *Surface Mining 2<sup>nd</sup> Edition* (ISBN 978-0-87335-102-7), SME, Colorado, (1206 s.).

## KAYNAKLAR

Bumin, M, 2003. *Eğitim Serisi No.36* (ISBN: 975-6595-70-1), Maden Tetkik Ve Arama



# Çamköy Formasyonundaki Jeotermal Sondaj Çamurunun Reolojik ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi

## *Evaluation of the Rheological and Chemical Properties of Geothermal Drilling's Mud in Çamköy Formation*

Y. Erdoğan, O. E. Kök

*İskenderun Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, İskenderun/HATAY*

**ÖZET** Sondaj operasyonlarında anlık takiplerinin yapılması gereken teknik verilerin başında sondaj çamurunun reolojik ve kimyasal özellikleri gelmektedir. Bu özelliklerdeki anlık değişim sondaj ilerleme hızını, torkunu ve kuyu hidrostatik basıncını etkilemektedir. Milyonlarca dolarlık yatırımlar sonucu yapılan bir sondaj operasyonunda takım kopması, burulması veya takımın tork alması gibi olumsuz durumlarla karşılaşmamak adına sondaj çamurunun kimyasal ve reolojik özelliklerinin incelenmesi ideal sondaj şartlarının sağlanması açısından oldukça önemlidir.

Yapılan çalışmada, Çanakkale Çamköy formasyonu içerisinde açılan bir jeotermal sondajında kullanılan çamurun reolojik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Sondaj operasyonuna 0-235 metreleri arasında Spud çamuru hazırlanmış ve kullanılmıştır. Bu metrajdan sonra lignosülfonat çamuruna geçilmiş ve 1738. metreye kadar bu Lignosülfonat çamuru ile ilerleme sağlanmıştır. 1738. metreden sonra Polimer çamuru hazırlanmış ve 2188. metreye kadar Polimer çamurlarla, devamında 2542. metreye kadar su kullanılarak sondaj bitirilmiştir. Tüm çamur türlerinde Çamur Ağırlığı, Marsh Huni Viskozitesi, Plastik Viskozite, Yield Point, 10dk Jel Mukavemeti, Sıvı Kaybı (Filter Press) ve Katı Madde Oranı değerleri tespit edilmiş ve grafiklere işlenmiştir. Bu değerlerin periyodik zamanlardaki sondaj ilerleme hızına olan etkileri ayrıca belirlenmiştir.

**ABSTRACT** The rheological properties of the drilling mud are at the beginning of the technical data that should be made for instant follow-up in drilling operations. The instantaneous change in these properties affects the drilling speed, torque and well hydrostatic pressure. Investigations of the chemical and rheological properties of the drilling mud are crucial in terms of ensuring ideal drilling conditions in order to avoid adverse situations such as plugging in millions of dollars worth of investment in a drilling operation, torsion of the machine.

In this study, the rheological and chemical properties of the mud used in a geothermal drilling in Çanakkale Çamköy Formation were investigated. Spud mud was prepared and used between 0-235 meters in the drilling operation. After this depth, the Spud mud was transformed to lignosulfonate mud. And progressed up to 1738m with lignosulfonate mud. Polymer mud was prepared after 1738 meters and drilling was finished with Polymer mud at 2542 meters. Mud weight, marsh funnel viscosity, plastic viscosity, yield point, 10 min gel strength, liquid loss and solids content values were determined, plotted on graphics in all mud types. The effects of these values on the rate of drilling progression at periodic times have also been determined.

## 1 GİRİŞ

Sondaj sektöründeki artan maliyetler dikkate alındığında sondaj esnasındaki teknik verilerin anlık olarak kayıt altına alınması zorunluluk haline gelmiştir. Elde

edilen ve kayıt altına alınan verilerin kullanılması benzer formasyonlarda yapılacak olan diğer sondajların sorunsuz ve hızlı yapılmasına olanak sağlamaktadır (Lukawski, 2016).

Sondaj çamuru, sondaj operasyonunda gereksinim duyulan değişik işlevlerin bir kısmını veya tamamını yerine getirmek amacıyla kullanılan bir sirkülasyon sıvısı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım, sondaj operasyonlarında sirkülasyon sıvısı olmaksızın sondajın yapılamayacağının önemine dikkat çekmektedir (Caenn,2017).

Sondaj sıvıları kimyasal ve reolojik özellikleri bakımından kompleks bir yapıdadır. ‘Sondaj Sıvıları’ terimi yerine çoğunlukla ‘Sondaj Çamuru’ ya da ‘Çamur’ ifadesi de kullanılabilir (TPAO, 2007). Sondaj uygulamalarının ilk yıllarında sadece kesinti ve su karışımından oluşan süspansiyonlar kullanılmıştır. 1920'li yıllarda, formasyon basıncını kontrol etmek amacıyla sondaj çamurunun yoğunluğunu arttırmak için ağırlaştırıcı olarak barit kullanılmaya başlanmıştır. Sondaj sirkülasyonu durduğunda sondaj çamuru içindeki bariti askıda tutmak amacıyla ilk olarak 1923 yılında bentonit kullanılmış bunu inorganik incelticiler ve sıvı kaybı önleyiciler takip etmiştir. 1950'li yılların sonuna doğru ferrokrom lignosülfonat gibi yeni incelticiler kullanılmaya başlanmıştır. Sondaj çamuru teknolojisinde önemli bir dönüm noktasını oluşturan bu gelişme, kalsiyum ( $Ca^{++}$ ) kirlenmesi ve yüksek sıcaklık gibi önemli sorunların çözümünde bentonit-su sistemlerinin başarıyla kullanılmasına olanak vermiştir (TPAO, 2007).

Sondaj için en iyi sondaj akışkanının seçimi ve özelliklerinin uygun halde tutulması sondaj mühendislerinin önemli ilgi alanı içerisinde. Sondaj akışkanı doğrudan ya da dolaylı olarak çoğu sondaj problemleri ile ilişkilidir. Eğer sondaj akışkanı görevlerini etkin bir şekilde yerine getiremez ise kuyunun terkedilmesine kadar uzanabilecek sonuçlar ile karşılaşılabilir (Altun ve ark., 2013).

Yapılan çalışmada, Çanakkale Çamköy Formasyonu içerisinde açılan bir jeotermal sondajında kullanılan çamurun reolojik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Sondaj operasyonuna başlanırken Spud çamuru hazırlanmış ve 0-235m arasında kullanılmıştır. Bu metrajdan sonra lignosülfonat çamuruna geçilmiş ve 1738metreye kadar bu çamur türü kullanılmıştır. 1738. metreden sonra Polimer çamuru hazırlanmış 2188. metreye kadar Polimer çamurlarla, devamında 2542. Metreye kadar su kullanılarak sondaj tamamlanmıştır. Spud, Lignosülfonat ve Polimer çamur türlerinde anlık takiplerle çamurun reolojik ve kimyasal özelliklerinden olan; Çamur Ağırlığı, Marsh Hunisi Viskositesi, Plastik Viskosite, Yield Point, 10dk Jel Mukavemeti, Sıvı Kaybı ve Katı Madde İçeriği değerleri tespit edilmiş, değişimler grafiklere işlenmiş ve bu değerlerin sondaj ilerleyişine olan etkileri belirtilmiştir.

## 2 JEOTERMAL SONDAJLARDA KULLANILAN BAŞLICA ÇAMUR TÜRLERİ VE KOMPOZİSYONLARI

### 2.1 Spud Çamuru

Spud çamuru temel olarak sondajın ilk metrajlarında kullanılan bir çamur türüdür. Tanecik boyutu büyük olan kesintilerin yüzeye getirilmesini ve süspansiyonda tutulmasını sağlar. Spud çamurlarının temel katkı maddesi bentonittir ve bentonit API Spec 13A veya TSE ISOEN 13500 nolu standartlarda özellikleri belirtilen bentonit veya katkısız bentonit olmalıdır. Gerekli viskozite ve YP değeri bentonit kullanım miktarı ile sağlanır.

### 2.2 Lignosülfonat Çamuru

Lignosülfonat çamurlarında sistemin viskoz özelliklerini sağlayan öncül katkı maddesi tatlı su içinde hidrate olmuş bentonittir. Bentonit API Spec 13A veya TSE ISOEN 13500 nolu standartlarda özellikleri belirtilen bentonit veya katkısız bentonit olmalıdır.

Çamuru delinen formasyonlardan gelen katı maddelerin ve kimyasal kirlenmelerin olumsuz etkilerinden korumak ve bu tip kirlenmelere karşı toleransını arttırmak amacıyla çamura kromsuz lignosülfonat (CFL) ilave edilir. CFL yukarıda bahsedilen olumsuz parametrelerden dolayı viskozite özelliklerinin (çamurun kopma noktası ve jel değeri gibi) aşırı bir şekilde artmasını önleyerek, çamurun öngörülen özelliklere uygun olarak uygulanmasına olanak verir. CFL'nin diğer bir görevi sistemi dispers veya defloküle etmesine bağlı olarak sıvı kaybını azaltmaktır.

### 2.3 Polimer Çamuru

Sondaj çamurunun reolojik ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek, sondaj esnasındaki problemleri en aza indirmek adına çamura katkı malzemesi olarak Polimerler eklenir. Polimer katkısı içeren ya da tamamen Polimerlerle hazırlanan çamur türlerine Polimer Çamuru denir. Genellikle kaçak ve rezervuar kirliliği problemini en aza indirmek için kullanılmaktadır.

Yüksek taşıma kapasitesi olan ve kaçak önleyici malzemelerle desteklenmiş olan bu çamur özellikle kaçak riski içeren formasyonlar geçilirken gelişecek büyük çaplı çamur kaçaklarını önlemek veya azaltmak için planlanmıştır. Beklenen en önemli ve tek sondaj problemi çamur kaçakları olup, mümkün olan en düşük çamur ağırlığıyla çalışılmalıdır. Kaçak nedeniyle çamurun kuyuda sirküle edilememesi durumunda, su ile kör sondaj yapılması ve belli aralıklarla Polianyonik Selüloz (PAC) ve Ksantam Sakızı (XCD) polimerleri kullanılarak hazırlanan viskoz tapalarla kuyunun süpürülmesi gerekmektedir. Çamurun çok hızlı bir şekilde hazırlanabilmesi, kaçak hacimlerinin kolayca kompanse edilmesine imkan verecektir. Ayrıca çamur kompozisyonunda yeralan tüm katkı maddelerinin HCl asitte çözünür olması hedef seviyelerde meydana gelecek olası kirlenmelerin asitleme operasyonu ile giderilmesini sağlayacaktır. Çamur ince, sağlam ve geçirgen olmayan bir keke sahip olduğundan, kaçağa bağlı takım sıkışma riskini de en az düzeye indirmektedir. Tüm çamur türlerinde kullanılan başlıca sondaj kimyasalları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Sondajlarda kullanılan başlıca kimyasal türleri

KATKI MADDESİ	FORMÜL	AÇIKLAMA
Bentonit	-	API Spec 13A Section 9 standardına uygun, yüksek şişme kapasitesine sahip kil mineralidir.
Kostik Soda, (NaOH)	NaOH	Yüksek saflıktaki sodyum hidroksittir. Ph dengelemek için kullanılır.
Soda Külü, (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Çamurun flokülüsünde veya Ph artmasında, ortamdaki Ca <sup>+2</sup> iyonlarının çöktürülmesini sağlar. Su bazlı çamur sistemlerinde kullanılır.
Yüksek Viskoziteli Karboksimetil Selüloz, (CMC – HV)	CH <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> H	Su kaybı düşürücü bir çamur katkısıdır. Yüksek viskozite artışı sağlar. Sıcaklığa dayanımı düşüktür.
Düşük Viskoziteli Karboksimetil Selüloz, (CMC – LV)	C <sub>6</sub> H <sub>9</sub> OCH <sub>2</sub> COONa	Su kaybı düşürücü bir çamur katkısıdır. Düşük viskozite artışı sağlar. Sıcaklığa dayanımı düşüktür.
Yüksek Viskoziteli Polianyonik Selüloz, PAC – HV	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CO ONa	Modifiye edilmiş polianyonik selülozdur. Mat, beyaz, toz görünümüne sahiptir. Su kaybını düşürür. Yüksek viskozite artışı sağlar. Sıcaklığa dayanımı yüksektir.
Düşük Viskoziteli Polianyonik Selüloz, PAC – LV	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CO ONa	Modifiye edilmiş yüksek kalite polianyonik selülozdur. Özellikle düşük viskozite artışı sağlayarak su kaybı kontrolünde kullanılır. Aynı zamanda çamurun gerekli miktarda karıştırılmamasından kaynaklanan balık gözü probleminin oluşumunu engeller.
Kromsuz Lignosülfonat, CFL	-	Asıl olarak deflokülant (dağıtıcı) olarak kullanılır. Etkili bir şekilde viskoziteyi azaltır. Tüm su bazlı sondaj çamurlarında sıvı kaybını da kısmi olarak azaltır. Sıcaklığa dayanımı 130 °C'tir.
Ksantam Sakızı, XCD	C <sub>35</sub> H <sub>49</sub> O <sub>29</sub>	Çamur içerisinde kolay dağılılabilen bir katkı maddesidir. XCD biyopolimeri tüm su bazlı çamur sistemleri için ve potasyum bromür, potasyum klorür, sodyum klorür ve sodyum bromürlü deniz suları ve tatlı sularda viskozite artırmak ve çamur içerisindeki katı maddelerin süspansiyonunu sağlamak için kullanılır. YP/PV oranını artırır. Ayrıca hızlı viskozite elde etmek istenildiği zamanda kullanılabilir.
Barit	BaSO <sub>4</sub>	Çamurun ağırlığını artırmak için en fazla kullanılan katkı maddesidir. Özgül ağırlığı 4,2–4,35 aralığında değişmektedir.
Sitrik Asit	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	Organik asit olup su bazlı sondaj sıvılarında Ph değerini düşürmek ve çözünebilir haldeki kalsiyum ile demir iyonlarını etkisiz hale getirmek amacıyla kullanılır.
Kalsiyum Karbonat	CaCO <sub>3</sub>	Polimer çamurunun ağırlığını artırmak için kullanılan katkı maddesidir.

### 3 ARAŞTIRMA BULGULAR

Yapılan jeotermal sondaj Çanakkale ili, Ayvacık ilçesi, Tuzla köyünde bulunan Çamköy Formasyonu'na yapılmıştır. 2542metre sondajda sondaj sıvısı olarak sırası ile Spud, Lignosülfonat ve Polimer çamuru kullanılmıştır.

Toplamda 104 günde tamamlanan sondajda başarılı sonuç alınmıştır. Sondaj

operasyonu boyunca yerli üretim sondaj kulesi ve makinesi kullanılmıştır.

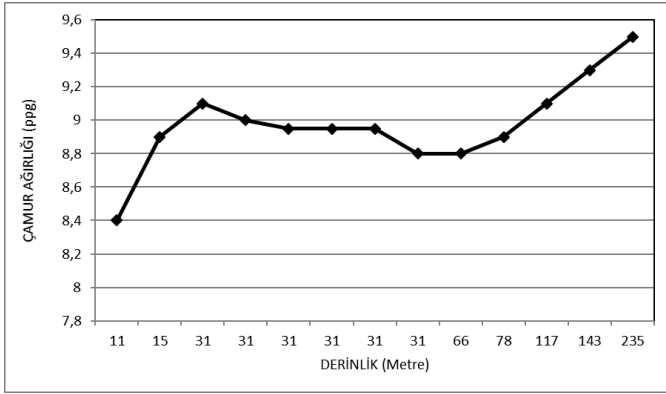
#### 3.1. Spud Çamurunun Analizi

Spud çamuru Çamköy formasyonunda yapılan sondajda 0-235 metre arasında kullanılmıştır. 0-30 metre arası sorunsuz bir şekilde geçilmiştir. 31. metrede 24 inç casing ve çimentolama operasyonu için

çamur bekletilmiştir. Bu bekleme esnasında günlük veriler alınmaya devam edilmiş ve grafiklere işlenmiştir. Çamurun belli bir süre bekletilmesine rağmen ölçümlerde büyük bir farklılık oluşmamıştır. Sonrasında 235 metreye kadar sondaj spud çamuruyla sorunsuz bir şekilde devam etmiştir.

### 3.1.1 Çamur ağırlığı

0-235 metre arasında Spud çamuru ile gerçekleştirilen sondajdaki çamur ağırlığının metreye bağlı ölçüm değerleri tespit edilmiş ve Şekil 1’de verilmiştir.

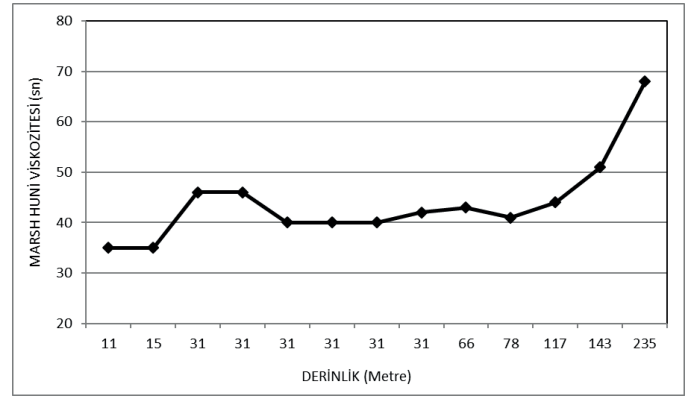


Şekil 1. Spud Çamurundaki Derinliğe Bağlı Çamur Ağırlığı Ölçüm Değerleri

Sondaj başlangıcında 8.4 ppg olan çamur ağırlığı 0–235 metre aralığı boyunca büyük farklılıklar göstermemiştir. Casing ve çimentolama operasyonları için sondaj 31. metrede durdurulmuştur. Sondajın durduğu zaman diliminde dahi çamur ağırlığı fazla bir değişikliğe uğramamıştır. 66. metreden sonra formasyon yapısının değişmesinden dolayı artış meydana gelmiştir.

### 3.1.2 Marsh huni viskozitesi

0-235 metre arasında Spud çamuru ile gerçekleştirilen sondajdaki marsh hunisi viskozite değerlerinin metreye bağlı ölçüm değerleri tespit edilmiş ve Şekil 2’de verilmiştir.

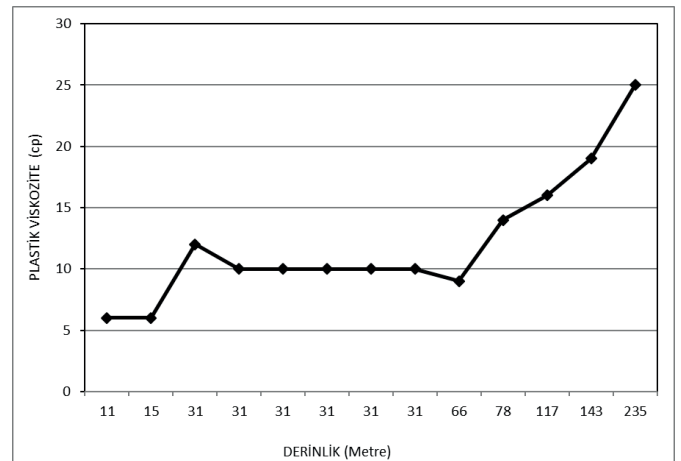


Şekil 2. Spud Çamurundaki Derinliğe Bağlı Marsh Hunisi Viskozite Ölçüm Değerleri

Sondaj başlangıcında 35sn olan Marsh Huni Viskozitesi ölçümü 0–235 metre aralığı boyunca büyük farklılıklar göstermemiştir. 31. metredeki sondajın durduğu zaman diliminde de değişikliğe uğramamıştır. 66. metreden sonra formasyon yapısının değişmesinden dolayı artış meydana gelmiştir.

### 3.1.3 Plastik viskozite

0-235 metre arasında Spud çamuru ile gerçekleştirilen sondajdaki Plastik Viskozitenin metreye bağlı ölçüm değerleri tespit edilmiş ve Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Spud Çamurundaki Derinliğe Bağlı Plastik Viskozite Ölçüm Değerleri

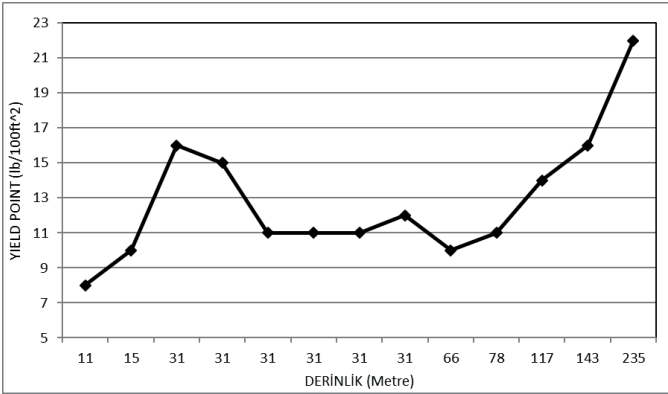
Sondaj başlangıcında 6cp olan Plastik Viskozite ölçümü 30. Metreye kadar değişime uğramadan sabit kalmıştır. Sondajın durdurulduğu 31. Metrede 10 cp ye çıkmış, 66. metreden sonra formasyon

yapısının değişmesinden 25cp ye kadar bir artma meydana gelmiştir.

### 3.1.4 Yield point

Döner viskometre kullanılarak ölçülen Çamurun Yield point değeri aynı zamanda kopma noktası olarak adlandırılır.

Spud çamuru ile gerçekleştirilen sondajdaki Yield Point ölçüm değerleri hesaplanmış ve metreler bağlı olarak Şekil 4’de verilmiştir.

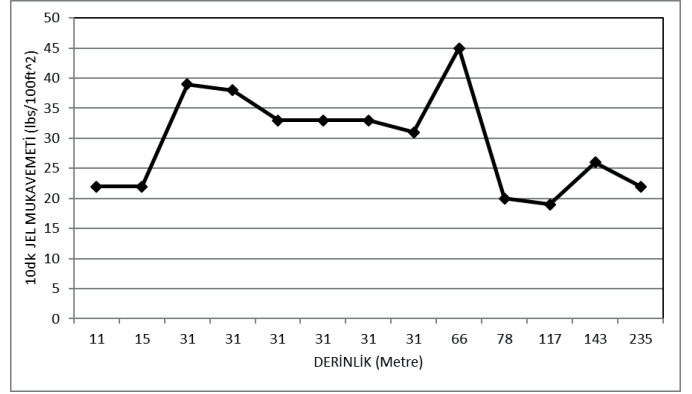


Şekil 4. Spud Çamurundaki Derinliğe Bağlı Yield Point Ölçüm Değerleri

Sondaj başlangıcında 8lbs/100ft<sup>2</sup> olan Yield Point ölçümü 30. metreye gelince 16lbs/100ft<sup>2</sup> ‘e kadar çıkmıştır. Sondajın durdurulduğu 31. metrede 11lbs/100ft<sup>2</sup> seviyelerine inmiş ve 66. metreden sonra formasyon yapısının değişmesinden dolayı 22lbs/100ft<sup>2</sup> seviyelerine kadar yükselmiştir.

### 3.1.5 10dk jel mukavemeti

0-235 metre arasında Spud çamuru ile gerçekleştirilen sondajdaki 10dk Jel mukavemeti ölçümü 22lbs/100ft<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Sondajın durdurulduğu 31. metrede 39lbs/100ft<sup>2</sup> e çıkmış, sonrasında azalma eğilimine girmiştir. 66. metredeki formasyon değişiminden 10dk Jel mukavemeti ölçümü değerleride etkilenip pik yapmış 66lbs/100ft<sup>2</sup>’e yükselmiş sonrasında 25lbs/100ft<sup>2</sup> seviyelerinde spud çamurlu sondaj bitirilmiştir (Şekil 5).

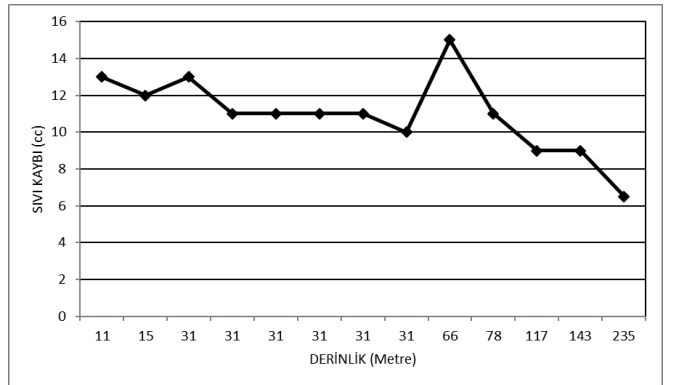


Şekil 5. Spud Çamurundaki Derinliğe Bağlı 10dk Jel Mukavemeti Ölçüm Değerleri

### 3.1.6 Sıvı Kaybı (Filter Press)

Sondaj başlangıcında 13cc olan Sıvı Kaybı (Filter Press) ölçümü 0 – 235 metre aralığı boyunca büyük farklılıklar göstermemiştir. Sıvı kaybı, sondajın durdurulduğu zaman diliminde dahi büyük bir değişikliğe uğramamıştır (Şekil 6).

66. metredeki formasyon değişimi esnasında sıvı kaybı 15cc’ye çıkmış sonrasında formasyon yapısının değişmesinden dolayı azalma meydana gelmiştir.



Şekil 6. Spud Çamurundaki Derinliğe Bağlı Sıvı kaybı Ölçüm Değerleri

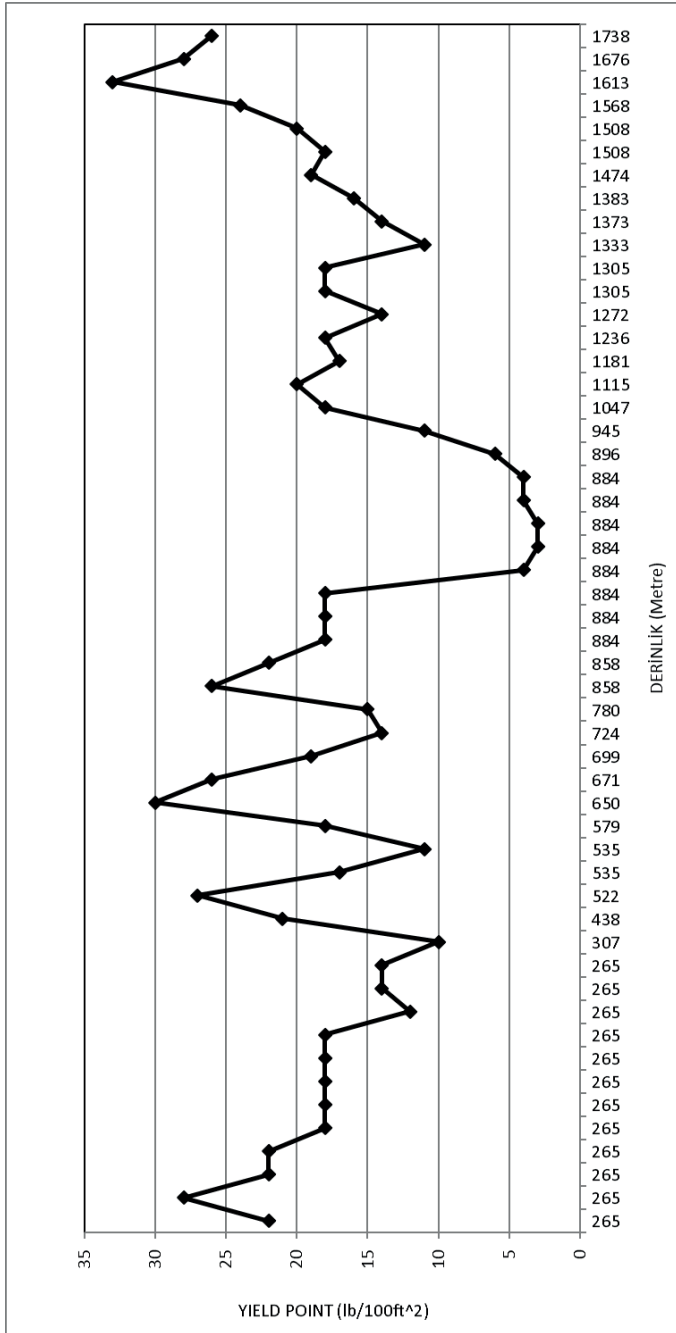
### 3.1.7 Katı madde

Sondaj başlangıcında %3,2 olan katı madde oranı 0 – 235 metre aralığı boyunca büyük farklılıklar göstermiştir. Sondajın durduğu zaman diliminde %3,4 olan katı madde 66.

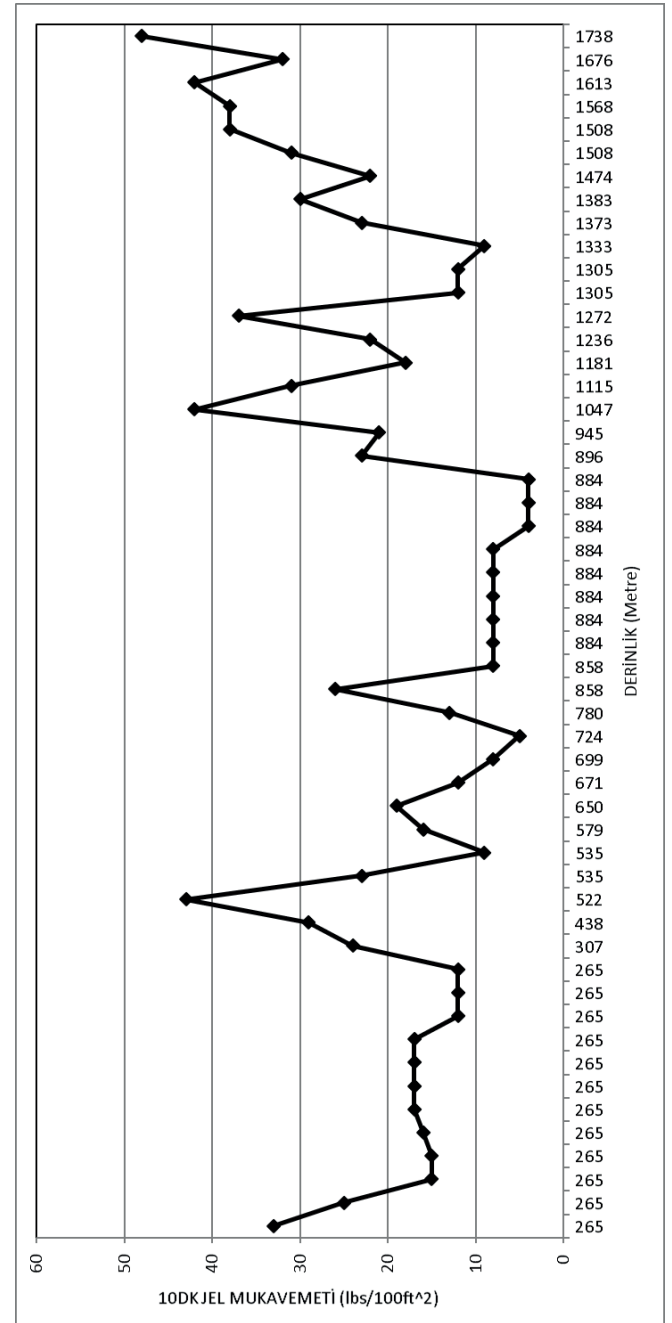








Şekil 11. Lignosülfonat Çamurundaki Derinliğe Bağlı Yield Point Ölçüm Değerleri



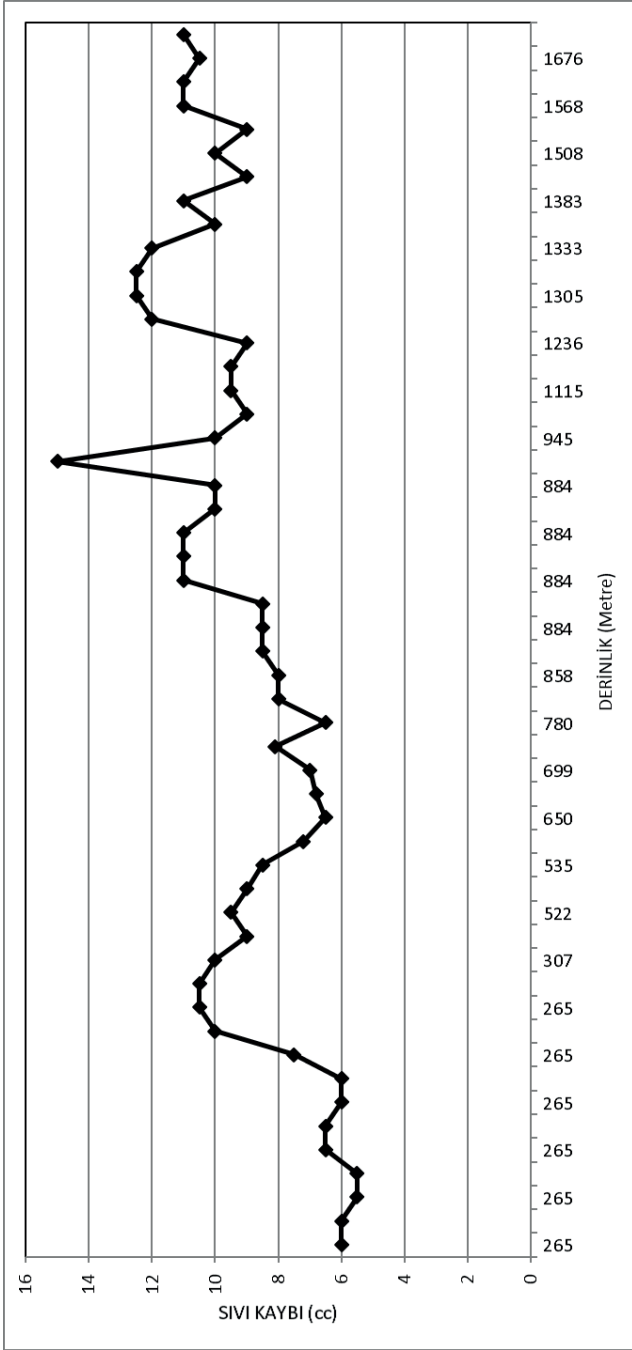
Şekil 12. Lignosülfonat Çamurundaki Derinliğe Bağlı 10 dk Jel Mukavemeti Ölçüm Değerleri

### 3.2.5 10dk jel mukavemeti

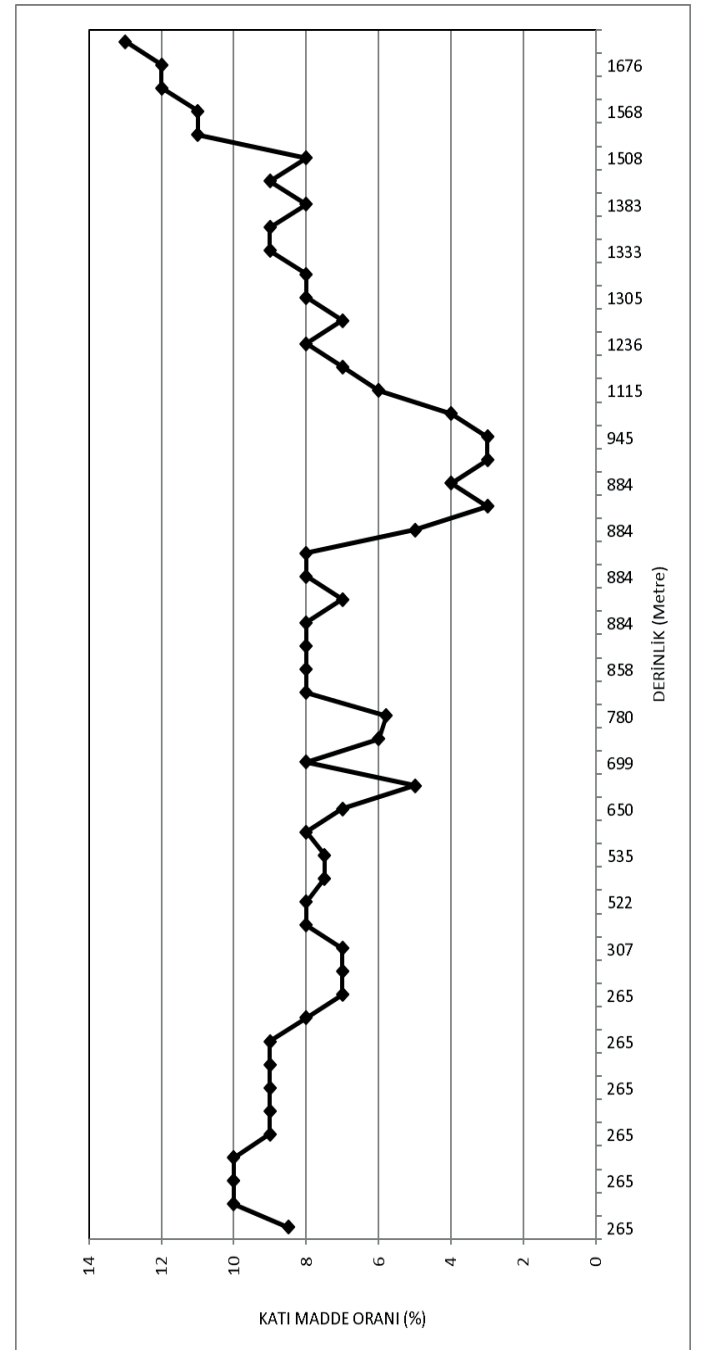
Başlangıçta  $33\text{lbs}/100\text{ft}^2$  olan 10dk Jel Mukavemeti değeri 265-1738 metre aralığı boyunca büyük farklılıklar göstermiştir. Sondajın durduğu zaman diliminde değişikliğe uğramamıştır. 265-1738 metre arası yapılan sondajın 10dk Jel Mukavemeti ölçümlerinin değerleri Şekil 12'de verilmiştir.

### 3.2.6 Sıvı kaybı (Filter press)

Başlangıçta 6cc olan Sıvı Kaybı (Filter Press) değeri 265-1738 metre aralığı boyunca çok büyük farklılıklar göstermemiştir. En büyük değişim sondajın durduğu ve sonrasında ilerlemeye geçildiği 884. metrede olmuş ve değerler Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 13. Lignosülfonat Çamurundaki Derinliğe Bağlı Sıvı Kaybı Ölçüm Değerleri



Şekil 14. Lignosülfonat Çamurundaki Derinliğe Bağlı Katı Madde Oranı Ölçüm Değerleri

### 3.2.7 Katı madde

Başlangıçta %8,5 olan Katı Madde Oranı değeri sondajın durdurulduğu 884. metrelerde %3'lere kadar düşmüş sondajın ilerlemeye başlamasıyla %7 seviyelerine tekrar çıkmıştır. Sondajın bitirilme aşamalarında %12 seviyelerine gelmiş ve bu değişimler Şekil 14'de verilmiştir.

### 3.3 Polimer Çamurunun Analizi

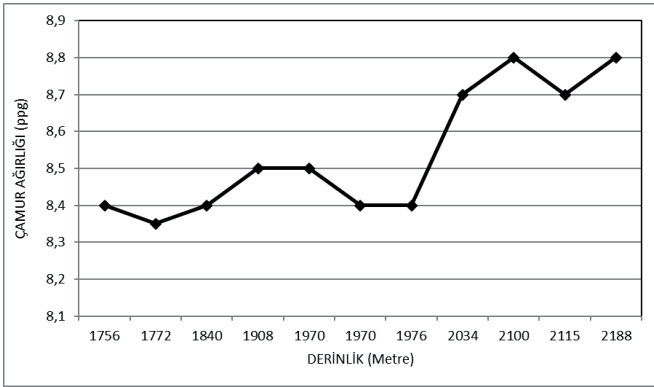
Çamköy formasyonunda yapılan jeotermal sondajında polimer çamuru 1756-2188 metre arasında kullanılmıştır. 1738 - 1756 metreler arası Lignosülfonat çamurundan polimer çamuruna geçiş değerleri olduğu için bu değerler grafiklere işlenmemiştir. 1970. metrede takım kopması meydana gelmiştir. Takım tahlisiye yapılarak

ekilmiş sonrasında sondaj 2188. metreye kadar sorunsuz bir şekilde devam edilmiştir.

2188. metreden sonra sondaj çamuru olarak su kullanılmaya başlanmıştır. Çamur tipi değişimi sırasında Polimer amuru tamamen sistemden uzaklaştırılmıştır. 2542. metreye kadar sondaj su ile devam etmiş ve bu noktada başarı ile sonuçlandırılmıştır.

### 3.3.1 Çamur ağırlığı

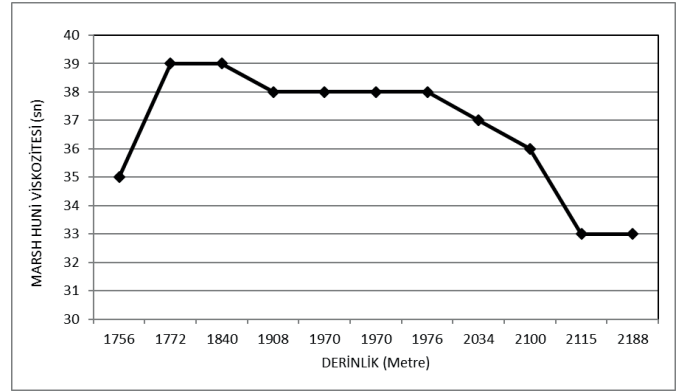
Polimer amurla sondaja başlanıldığında 8,4ppg olan amur Ağırlığı değeri 1756-2188 metre aralığı boyunca büyük farklılıklar göstermemiştir. Takım kopmasında sonra çamur ağırlığında artmalar meydana gelmiş olup 8,8ppg olarak sondaj sonlandırılmıştır (şekil 15).



şekil 15. Polimer amurundaki Derinliğe Bağlı amur Ağırlığı lm Değerleri

### 3.3.2 Marsh huni viskozitesi

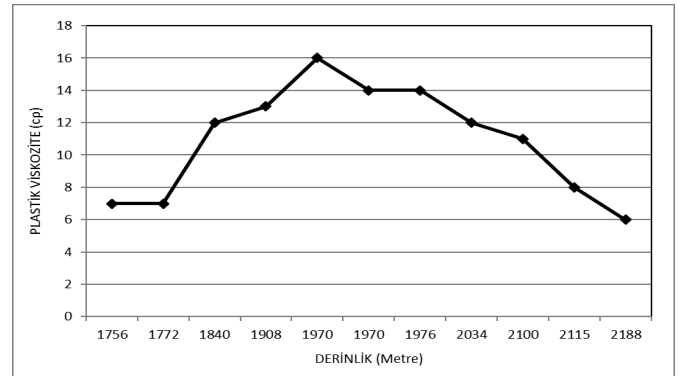
35sn olarak başlayan Polimer amur Marsh huni viskozite değeri 1756-2100 metre aralığı boyunca 36-39sn aralığında değişmiştir. Sondajın son aşamalarında marsh huni viskozite değeri 33sn'ye dşmştir(şekil 16).



şekil 16. Polimer amurundaki Derinliğe Bağlı Marsh Hunisi Viskozite lm Değerleri

### 3.3.3 Plastik viskozite

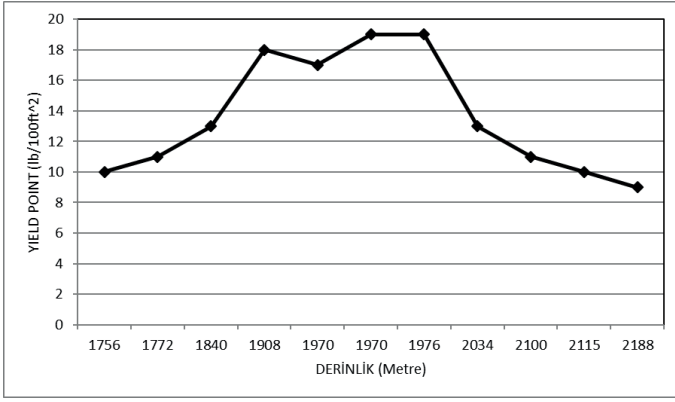
Başlangıçta 7cp olan Plastik Viskozite değeri takımın koptuğu 1970. metrede 16cp seviyelerine çıkmış sonrasında sürekli bir azalma eğilimi göstererek 6cp seviyelerinde sondaj bitirilmiştir.



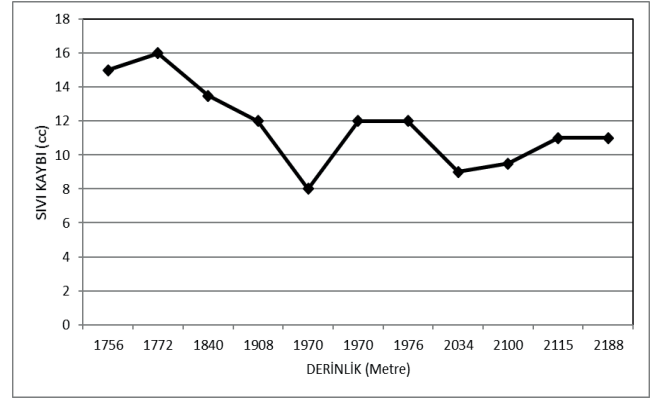
şekil 17. Polimer amurundaki Derinliğe Bağlı Plastik Viskozite lm Değerleri

### 3.3.4 Yield point

10lbs/100ft<sup>2</sup> ile sondaj başlanılmış olup takımın sıkıştığı ve koptuğu 1970'li metrelerde 19lbs/100ft<sup>2</sup>'lere kadar yükselmiştir. Tahlisiye sonrası amurun Yield Pointinde azalmalar başlamış ve sondajın bitirilme aşamalarında başlangıç değerlerine yakın bir değere ulaşmıştır (şekil 18).



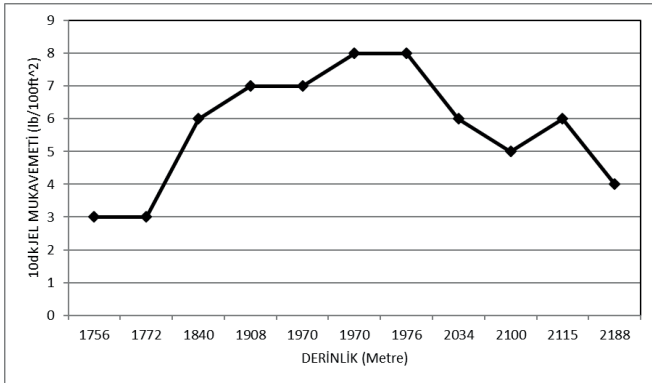
Şekil 18. Polimer Çamurundaki Derinliğe Bağlı Yield Point Ölçüm Değerleri



Şekil 20. Polimer Çamurundaki Derinliğe Bağlı Sıvı Kaybı Ölçüm Değerleri

### 3.3.5 10dk jel mukavemeti

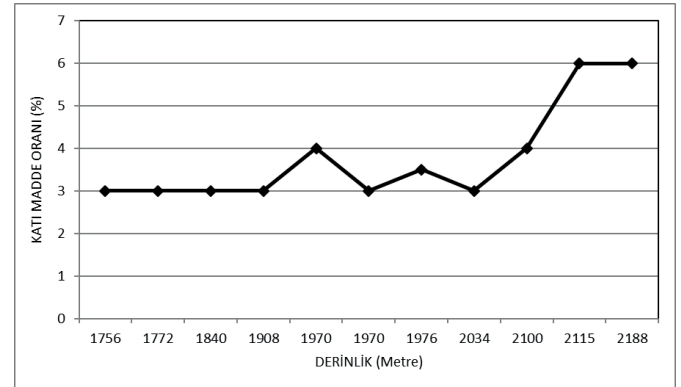
Başlangıçta 3lbs/100ft<sup>2</sup> olan 10dk Jel Mukavemeti değeri 1970'li metrelerde 8lbs/100 ft<sup>2</sup>'e çıkmıştır. Sonrasında düşüş eğilimine girmiş ve sondajın son aşamalarında 4lbs/100ft<sup>2</sup> olarak sondaj tamamlanmıştır (Şekil 19).



Şekil 19. Polimer Çamurundaki Derinliğe Bağlı 10 dk Jel Mukavemeti Ölçüm Değerleri

### 3.3.7 Katı madde

Başlangıçta %3 olan katı madde oranı değeri 2100. Metreye kadar büyük bir farklılık göstermeden ilerlemiştir. Sonrasında formasyonun değişmesiyle birlikte artmaya başlamış ve %6'lara kadar çıkmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Polimer Çamurundaki Derinliğe Bağlı Katı Madde Oranı Ölçüm Değerleri

### 3.3.6 Sıvı kaybı (Filter press)

Başlangıçta 15cc olan sıvı kaybı (Filter Press) değeri 1756-2188 metre aralığı boyunca farklılıklar göstermemiştir.

Sondajın durduğu zaman diliminde çok fazla bir değişikliğe uğramamıştır (Şekil 20).

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Çanakale, Çamköy bölgesinde açılan ve 2542. metrede sonlandırılan bir jeotermal kaynak sondajında kullanılan spud, lignosülfonat ve polimer çamurların reolojik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Elde edilen veriler grafiklere işlenerek formasyonun ilerlemesi esnasında çamur özelliklerinde meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir. Sondaj ilerlemesi esnasında meydana gelen olumsuz (tork, sıkışma, kopma vs) herhangi bir durum doğrusal olarak çamur

özelliklerini değiştirmektedir. Sondaj mühendisi tarafından çamurun teknik verileri dikkatli bir şekilde incelendiğinde çamur özelliklerindeki ani değişimin sondaj ilerlemesiyle olan ilişkisi belirlenip acil müdahalede bulunması gerekmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

- Lukawski, M.Z., Silverman, R.L., Tester, J.W. 2016. Uncertainty analysis of geothermal well drilling and completion costs, *Geothermics*, 382-391.
- TPAO, 2007. Sondaj Akışkanları Teknolojisi, TPAO, Araştırma Merkezi Daire Başkanlığı, Ankara.
- Caenn, R., Darley H.C.H., Gray, G.R. 2017. Introduction to Drilling Fluids, *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids* (Seventh Edition), 1-34.
- Altun, G., Osgouei, A.E., Serpen, U. 2013. Su Bazlı Sepiolit Çamur Özelliklerinin Zorlu Sondaj Koşullarında Deneysel Olarak incelenmesi, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.

# Madencilikte Risk Değerlendirmede Yeni Bir Yaklaşım

## A New Approach for Risk Assessment in Mining

Ş. Yuvka, O. Şahbaz

*Dumlupınar Ünvertesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

H. E. Can

*Sozl, İş Sağlığı ve İş Güvenliği Org. Tic. Ltd. Şti.*

O. Uysal

*Dumlupınar Ünvertesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya*

**ÖZET** Madencilik ağır ve tehlikeli iş kollarının başında gelmektedir. Gerek işçi sağlığı gerekse iş güvenliği açısından önlemlerin alınması, tehlikelerin belirlenerek risk değerlendirmesinin yapılması gerekmektedir. Risk değerlendirme; işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalar olarak tanımlanmaktadır. Bilindiği üzere risk değerlendirmenin en önemli aşamalarından biri uygun risk analiz metodu kullanarak risklerin derecelendirilmesidir. Analiz metotlarında risklerin derecelendirilmesinde ise olasılık, şiddet, fark edilebilirlik gibi parametreler dikkate alınmaktadır. Buna karşın özellikle riskten etkilenecek kişi sayısının önemli bir parametre olarak riskin derecelendirilmesinde kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada, özellikle madencilik sektörüne daha uygun bir risk değerlendirme yapabilmek amacıyla olasılık ve şiddetin yanı sıra ve etkilenen kişi sayısı ile herhangi bir denetimdeki uygunsuzluk sayısı da dikkate alınarak bir risk analiz metodu geliştirilmiştir. Geliştirilen analiz metoduyla hem risklerin uygun bir şekilde derecelendirilmesi sağlanmış hem de risk değerlendirme sonrası kontrollerde alınan önlemlerin etkinliği tespit edilmiştir.

**ABSTRACT** Mining is at the forefront of heavy and dangerous business line. Risk assessment have to be made by specifying threats and taking precautions in terms of either occupational health or safety. Risk assessment is defined as specifying internal or external threats, analysing and rating threat-sourced risks and factors that causes threats turn into risks and the studies made to decide control precautions. As known, one of the most important phase of risk assessment is rating risks by using appropriate risk analysis method. In analysis methods for risk rating, parameters like probability, severity and remarkability are being taken in consideration. In any case, especially the number of person affected by risk have to be used as an important parameter for risk rating. In this study, especially in mining sector, for the purpose of making the most appropriate risk assessment, a risk analysis method have been developed by taking consideration the number of affected person and the number of unfavorableness at any control, besides probability and severity. With the developed analysis method, risks have been rated appropriately and also the efficiency of precautions taken at controls after risk assessment have been determined.

## 1 GİRİŞ

ILO verilerine göre her 15 saniyede bir işçi, iş ile ilgili bir kaza veya hastalık nedeniyle ölmektedir. Yine her 15 saniyede 153 işçi iş kazası geçirmektedir. Her gün 6300 kişi meslek hastalıkları veya işle ilgili hastalıkların sonucu hayatını kaybetmektedir. Yılda 2,3 milyon kişi iş kazası geçirmekte, iş yerlerinde yılda 137 milyon kaza meydana gelmekte, bunların bir çoğu uzun süre işten uzak kalma ile sonuçlanmaktadır. İş sağlığı ve güvenliğine yeteri kadar önem verilmemesinin ekonomik yükü, her yıl GSMH'nin %4'ü olarak tahmin edilmektedir (<http://www.ilo.org>, 2017)

Dünyada ve Türkiye'de iş kazalarının en çok gerçekleştiği sektörlerin başında maalesef madencilik gelmektedir.

Özellikle yerüstü madenciliğinde kullanılan kazıcı ve yükleyici iş ekipmanları, geniş araçlar, patlayıcılar, maden tozları; yeraltı madenciliğinde ise kapalı ve sınırlı alanlarda çalışmalar, göçükler, sıcak/soğuk ortamlar, gürültü, yetersiz aydınlatma, titreşim, toz patlatmaları ve parlayıcı, patlayıcı, boğucu ve zehirleyici gazlar, vardiyalı çalışma sistemi, maden işçilerinin zorlayıcı çalışma şartlarından bazılarını oluşturmaktadır. Tüm bunlar iş kazalarına ve meslek hastalıklarına neden olmakta, bunun sonucunda da geçici ya da sürekli iş göremezlik ve ölüm olayları meydana gelmektedir (Ünlü, v.d. 2013). Bu kayıpları engellemek adına uygulanması gereken en önemli süreçlerden biri risk değerlendirmedir.

Risk, belirlenmiş tehlikeli bir olayın oluşma ihtimali ve sonuçlarının bileşiminden oluşmaktadır. İnsan sağlığına, çevreye veya mala gelebilecek bir zararın meydana gelme olasılığı olan risk, olağan çalışma esnasında mevcut bir tehlikenin yaratabileceği zarar şeklinde de tanımlanabilir. Risk analizi; işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan

risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalardır (Can, vd., 2015).

Risk değerlendirme İş Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetmeliğinde, "İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmaları ifade eder" şeklinde tanımlanmaktadır (ÇSGB, 2012). 20/6/2012 tarihli ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, 29.12.2012 tarih ve 28512 sayılı Resmi Gazete yayınlanan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği'nde "Risk değerlendirmesi; tüm işyerleri için tasarım veya kuruluş aşamasından başlamak üzere tehlikeleri tanımlama, riskleri belirleme ve analiz etme, risk kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması, dokümantasyon, yapılan çalışmaların güncellenmesi ve gerektiğinde yenileme aşamaları izlenerek gerçekleştirilir" şeklinde yer almaktadır (ÇSGB, 2012).

Risk değerlendirmenin esası, tehlikeyi tanımlamak, tehlikelerden kaynaklanabilecek olası riskleri öngörüp değerlendirerek gerekli önlemleri almaktır.

Risk değerlendirmesinde temel kural, riski doğuran tehlike kaynağını ortadan kaldıracı, onu yok edici tedbirleri almaktır. Bu yapılamıyorsa amaç, alınan önlemlerle tehlike odağının neden olabileceği riski çok düşük olasılıklı bir etken haline dönüştürebilmektir. Sınır değerlerde çalışma yapmak risk tehdidini sürekli gündemde tutacaktır (Ünlü, v.d. 2013). Dolayısıyla yapılacak uygun risk değerlendirme ile tüm risklerin kabul edilebilir seviyeye indirilmesi gerekmektedir.

Riskleri kabul edilebilir seviyeye indirmek için bilindiği kadarıyla iki yüzün üzerinde risk analiz metodu bulunmaktadır. Bu analiz metodları genelde riski; olasılık ve kişiye

olan etkisi yani şiddetinin bileşimi olarak kabul etmiştir. Böylece riski sayısal olarak olasılık ve şiddetin çarpımı olarak ifade etmişlerdir. Tüm analiz metodları subjektif olup uygulanması en kolay ve farklı büyüklükteki işletmelere uygulanabilecek ve şiddet ile olasılık dışında da parametreleri hesaba katan risk analizi metodlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, mevcut risk analiz metodları incelenmiş ve maden sektörü için detaylı bir değerlendirmenin yapılabileceği bir risk analiz metodu geliştirilmiştir. Böylece hem risklerin doğru tespiti hem de kontrollerde hataların doğru tespiti adına yeni bir analiz metodu sektörün kullanımına sunulmuştur.

## 2. RISK DEĞERLENDİRMEDE YENİ YAKLAŞIM

Risk değerlendirmesinin yapılması için farklı metotlar kullanılmakta; çalışma yapılan işletmenin boyutları, uygulanan madencilik yöntemi, çevre koşulları ve çalışan sayısı gibi kriterlere göre kullanılan metotlara karar verilmektedir. Fakat bütün bu risk değerlendirme metotları temel olarak iş yerinde mevcut olan veya ortaya çıkabilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerden doğan risklerin tayin edilip analiz edilmesi ve sonuçta bulunan risklerin azaltılması için uygulanacak önlemlerin belirlenmesi üzerine kurulmuştur. Yani risk değerlendirmesi yapmaya başlamak için öncelikle iş yerindeki tehlikelerin ve bu tehlikelerden doğan risklerin belirlenmesi gerekmektedir (Arslan, v.d., 2009).

Literatüre incelendiğinde risk değerlendirme yöntemleri çeşitlilik göstermektedir. Uygulanan yöntemlerden birisi de basit olması açısından Risk Değerlendirme Karar Matrisi olan 5x5 L matrisidir. Bu yöntemde, bir olayın gerçekleşme ihtimali ile gerçekleşmesi halinde sonucunun derecelendirilmesiyle ölçümü yapılmaktadır. Riskin derecelendirilmesi için olasılık ve sonucun şiddet derecesinin sayısal olarak ifade

edilmesi yararlı olacaktır. Risklerin derecelendirilmesi ve değerlendirilmesi için gerekli olan risk puanı aşağıda verilen Eşitlik ile ifade edilmektedir (Şahin, v.d. 2011).

$$\text{Risk puanı} = \text{Kaza Olasılığı} \times \text{Kaza Şiddeti}$$

Geliştirilen yeni risk analizi yaklaşımı ise bu yöntemlerle yapılan çalışmaların sahayı gerçek manada yansıtmadığı ya da öngörülen değerlerde kazalardan etkilenen kişi sayısının risk skorunu değiştirmesi gerektiği fikrinden yola çıkarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada risk skorunun değerlendirilmesi aşamasında risk skoruna etkilenen kişi sayısı, ortam gözetim skoru da eklenerek yeni bir eşitlik ortaya çıkartılmıştır. Ortam gözetim skorunun eklenmesiyle de özellikle analiz sonucunda elde edilen skora bağlı olarak yapılan önleyici/düzeltilici faaliyetlerin kontrollerinin yapılması sağlanmış olacaktır. Böylece yeni risk skorunu hesaplamada; kazanın olma olasılığı, kaza olduğunda bıraktığı etki (şiddet), kaza olması durumunda etkilenecek kişi sayısı ve kazaya neden olan durumun kontrollerdeki varlığı yani hata sayısı uygun parametreler olarak belirlenmiştir. Böylece; risk skorunu belirlemek için aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$RS = O \times \text{Ş} \times \text{EKS} \times \text{SGS} \times 0,16$$

RS : Risk Skoru

O : Olasılık

Ş : Şiddet

EKS : Etkilenen Kişi Sayısı

SGS : Saha Gözlem Skoru

Her bir parametrenin 5 farklı düzeyi olduğu ve düzey değerleri büyüdükçe riskin de büyüdüğü düşünülürse oluşturulan bu yeni metoda göre kaza olma olasılığı ve şiddetinin yanısıra etkilenecek kişi sayısı ve herhangi bir gözlemdeki hata sayısı da riskin büyüklüğünü belirlemede eşit etkiye sahip olacaktır. Bu yeni metodun parametreleri ve düzeyleri Çizelge 5, 6, 7, 8 ve 9'da verilmiştir.



Çizelge 5. Bir Olayın Gerçekleşme İhtimali

İHTİMAL	ORTAYA ÇIKMA OLASILIĞI İÇİN DERECELENDİRME BASAMAKLARI	PUAN
<b>ÇOK KÜÇÜK</b>	Hemen hemen hiç	1
<b>KÜÇÜK</b>	Çok az ( yılda bir kez ), sadece anormal durumlarda,	2
<b>ORTA</b>	Az ( yılda bir kaç kez )	3
<b>YÜKSEK</b>	Sıklıkla ( ayda,bir )	4
<b>ÇOK YÜKSEK</b>	Çok sıklıkla ( haftada bir, her gün ), normal çalışma şartlarında	5

Çizelge 6. Bir Olayın Gerçekleştiği Takdirde Şiddeti

SONUÇ	DERECELENDİRME	PUAN
<b>ÇOK HAFİF</b>	İş saati kaybı yok, hemen giderilebilen, ilk yardım gerektiren	1
<b>HAFİF</b>	İş günü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi	2
<b>ORTA</b>	Hafif yaralanma, yatarak tedavi / yaralanma	3
<b>CİDDİ</b>	Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı	4
<b>ÇOK CİDDİ</b>	Ölüm, sürekli iş göremezlik	5

Çizelge 7. Bir Olayın Gerçekleştiği Takdirde Etkilenen Kişi Sayısı

Olaydan Etkilenen Kişi Sayısı	PUAN
1-3 kişi	1
3-6 kişi	2
6-9 kişi	3
9-12 kişi	4
>12 KİŞİ	5

Çizelge 8. Saha Gözlem Esnasındaki Uygunsuzluklar

Uygunsuzluk Sayısı	PUAN
1-3 arası	1
3-7 arası	2
7-10 arası	3
10-15 arası	4
>15	5

Çizelge 9. Sonucun Kabul Edilebilirlik Değerleri

	PUAN
Önemsiz Riskler	<1
Katlanılabilir Riskler	1-20
Orta Düzey Riskler	20,48-32
Önemli Riskler	36-48
Tolare Edilemeyen Riskler	51,2-100

Çizelge 10. Yeni risk analiz yöntemine göre risk analiz örnekleri

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Mevcut Önlem	Risk Değerlendirme					
					Olasılık	Şiddet	Etkilenen Kişi Sayısı	Saha Gözlem Skoru	Katsayı	Risk
1	Kazı çalışmaları	Kazı alanına uygun şev verilmemesi	Kazı alanında toprak kayması/çökmesi	Mevcut önlem yok	4	4	5	5	0,16	64
	Kazı çalışmaları	Kazı alanına uygun şev verilmemesi	Kazı alanında toprak kayması/çökmesi	i) Kazı işlerinde, yukarıdan aşağıya doğru ve toprağın dayanıklılığı ile orantılı bir şev verilmektedir. ii) Şevin verilemediği yerlerde payanda ve iksa ile desteklenme yapılmaktadır.	2	4	5	1	0,16	6,4
2	Kazı çalışmaları	İşçilerin, iş makinası yakınında uygunsuz bir şekilde çalışmaları/bulunmaları	İş makinesinin işçilere çarpması	Mevcut önlem yok	4	4	4	5	0,16	51,2
	Kazı çalışmaları	İşçilerin, iş makinası yakınında çalışmaları/bulunmaları	İş makinesinin işçilere çarpması	i) İş makinesi çalışma alanının emniyet şeridi ile çevrilmiştir. ii) İnsan girişinin engellenmesi için uyarı levhaları asılmıştır. iii) Personel levhalara uygun hareket etmemektedir.	2	4	4	2	0,16	10,24

Çizelge 10. Yeni risk analiz yöntemine göre risk analiz örnekleri (devam)

No	Faaliyet	Tehlike	Risk	Mevcut Önlem	Risk Değerlendirme					
					Olasılık	Şiddet	Etkilenen Kişi Sayısı	Saha Gözlem Skoru	Katsayı	Risk
3	Kazı çalışmaları	İş makinası kabininde operatör harici kişilerin bulunması	İş makinası üzerinden düşme	Mevcut önlem yok	4	4	1	5	0,16	12,8
	Kazı çalışmaları	İş makinası kabininde operatör harici kişilerin bulunması	İş makinası üzerinden düşme	i) İş makinası içerisinde ve üzerinde operatör harici kişiler bulundurulmamakta ve operatör bu konuda devamlı uyarılmaktadır. ii) Operatörlere konu hakkında eğitim/talimat verilmiş bir örneğinde araçlara asılmıştır..	2	4	1	2	0,16	2,56
4	Elektrik Panoları	Yetkisiz kişilerce müdahale	Elektrik çarpması	Mevcut önlem yok	5	4	1	5	0,16	16
	Elektrik Panoları	Yetkisiz kişilerce müdahale	Elektrik çarpması	i) Panolar üzerine yasak işaretleri asılmıştır. ii) Tüm önlemlere rağmen personel kildi açarak müdahale etmektedir.	3	4	1	3	0,16	5,76

Çizelge 10. Yeni risk analiz yöntemine göre risk analiz örnekleri (devam)

No	Proses/Faaliyet	Tehlike	Risk	Mevcut Önlem	Risk Değerlendirme					
					Olasılık	Şiddet	Etkilenen Kişi Sayısı	Saha Gözlem Skoru	Katsayı	Risk
5	Saha çalışmaları	Kişisel koruyucu donanımın(KKD ) uygun şekilde kullanılmaması	Kişisel koruyucu donanımdan beklenen yeterli korumanın sağlanamaması sonucu yaranma	Mevcut önlem yok	5	4	5	5	0,16	80
	Saha çalışmaları	Kişisel koruyucu donanımın(KKD ) uygun şekilde kullanılmaması	Kişisel koruyucu donanımdan beklenen yeterli korumanın sağlanamaması sonucu yaranma	Kişisel koruyucular temin edilmiştir,fakat etkin şekilde kullanımı söz konusu değildir.	3	4	5	4	0,16	38,4
6	Kırma-Elementesi	Tesisin toz emiş sisteminin çalışmaması	Tozlanmadan dolayı görüş alanının azalması ve Meslek hastalığı	Mevcut önlem yok	5	4	5	5	0,16	80
	Kırma-Elementesi	Tesisin toz emiş sisteminin çalışmaması	Tozlanmadan dolayı görüş alanının azalması ve Meslek hastalığı	Sistem aktif olarak çalışmaktadır. Çalışan personele her ihtimale karşın toz maskesi verilmektedir.	3	4	5	4	0,16	38,4

### 3. YENİ RISK ANALİZ METODUNUN UYGULAMASI

Geliştirilen yeni risk analiz metodunun etkinliğini görebilmek amacıyla açık ocak madenciliğinde elde edilen veriler üzerinde risk analizi yapılmıştır. Buna göre, kazı çalışmaları, elektrik panoları, saha çalışmaları ve kırma eleme işlemlerindeki risklerin büyüklüğü geliştirilen yeni metod ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 10'da verildiği gibidir.

Çizelge 10'dan elde edilen sonuçlara göre; örnek çalışmadaki açık ocakta en yüksek risk değeri saha çalışmaları ile kırma eleme tesisinde elde edilmiştir. Kazı çalışmalarında da kabul edilemez düzeyde risk olduğu belirlenmiştir. Buna göre, saha çalışmalarında kişisel koruyucu donanım kullanılmaması ve kırma elemelerde toz emiş sistemlerinin çalışmaması nedeniyle yüksek riskler (RS=80) gözlenmiştir. Kazı alanın şev açılarının uygun olmaması 64 puanlık bir risk ortaya çıkarırken, işçilerin iş makineleri yanında uygunsuz çalışmaları 51.2'lik bir risk doğurmaktadır. İş makineleri kabininde operatör harici kişilerin bulunması 12.8'lik bir skora sahipken, elektrik panolarına yetkisiz kişilerce müdahale edilmesinin skoru 16 olarak elde edilmiştir (Çizelge 10).

Örnek açık ocak çalışmasında elde edilen risk analiz skorları tüm alanlarda Kabul edilemez riskler olduğunu göstermektedir. Buna göre skoru en yüksek riskten başlanarak önlemlerin alınması ve bu önlemlerin uygunluğunun kontrol edilmesi gerekmektedir. Kırma-eleme ünitesinde sistemin aktif çalışması için periyodik bakımlar yapılması ve personelin uygun KKD'leri kullanması, saha çalışmalarında kişisel koruyucuların takılmasının sağlanması ve eğitimler verilmesi, kazı çalışmalarında operatörden başka kişilerin iş makinesi kabinine girmemesi için eğitimler verilmesi ve kilitleme gibi önlemlerin alınması ve elektrik panoları için de yine uyarıcı levhaların konulması ve eğitim verilmesi gerekmektedir.

Özellikle işçilere verilen eğitimler sonucunda gerekli önlemler alındığında risk

skorlarının boyut küçültme işlemleri için 80'den 38'lere düştüğü tespit edilmiştir (Çizelge 10). Aynı durum kazı çalışmaları, elektirik panoları için de geçerlidir. Kısa bir süre için yapılan bu çalışmada özellikle güvenlik kültürünün oluşturulması ile risklerin bertaraf edilebileceği görülmüştür. Geleceğimiz olan madencilik sektöründe sıfır kaza ile çalışmak mümkündür.

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada madencilik sektöründe rahatlıkla uygulanması mümkün yeni bir risk analiz metodu geliştirilmiştir. Bu yeni metod klasik analiz metodlarındaki olasılık ve şiddet parametresinin yanında etkilenecek kişi sayısı ve gözlem sırasındaki hata sayısını da eşit oranda dikkate alarak riskin hesaplanmasını sağlamaktadır. Örnek bir açık ocak için yapılan çalışmada risklerin önceliklerinin belirlendiği bu yeni yöntemin aynı zamanda kontrol tedbirlerinin uygun olup olmadığına karar verilmesini de sağladığı görülmektedir.

### KAYNAKLAR

Arslan, S., Konuk, A., Kasap, Y., 2009, "Türkiye Mermer Ocaklarında Risk Analizi", Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, 19-20 Kasım, Adana, s 169-180.

Can, H.E., Yuvka Ş., Beyhan, S., 2015, "Yeraltı Madenciliğinde Risk Değerlendirme Yaklaşımlarının İncelenmesi", Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 21-22 Aralık, Adana, s.65-78.

ÇSGB, 2012. İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı 28339.

<http://www.ilo.org>.

Irgat, H.H, Kocaman, R., Irgat, S.Y., Kocaman, B., 2015, “Açık İşletme Yöntemiyle Çalışılan Kömür Ocaklarında İş Güvenliğine Bakış”, Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 21-22 Aralık, Adana, s. 149-162.

Ünlü Ö., Akçakoca H., Uysal Ö., Beyhan S., Cevizci H., 2013, "Avrupa Birliğine Uyum Sürecinde Türkiye’de Madencilik Sektöründe İş Sağlığı ve İş Güvenliği Uygulamaları", Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş güvenliği Sempozyumu, s.99-110, Adana.

Şahin, M., Gürcanlı, G.E., 2011. Betonarme, Çelik ve Hafif Çelik Binalarda İş Güvenliği Risklerinin Karşılaştırmalı Analizi, 3. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, s.201-212, Çanakkale.

# Motor Yağlarının Ömür Tayini

## *Determining Life of Engine Oil*

H. R. Karataş

*TKİ Ege Linyitleri İşletmesi, Makina Yüksek Mühendisi, Soma*

**ÖZET** Motor yağları, açık ocak madenciliğinde kullanılan makineler açısından önemli bir gider kalemidir. Bu nedenle motor yağlarının verimli şekilde kullanılması, hem oluşturduğu mali yük, hem de çevreye verdiği zarar bakımından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle motor yağlarının TBN değerine bakarak değişiminin sağlanması ve buna bağlı olarak periyodik değişim saatlerinin uzatılması saha şartlarında test edilmiştir.

Bu tebliğde, yapılan bu saha testinin sonuçları gösterilmiş ve değerlendirilmiştir.

**ABSTRACT** Engine oils are an important expense items in terms of machine which used in open mining. For this reason, efficient use of engine oils is very important in terms of cost and damage to environment. Changing engine oil and extending drain intervals by looking TBN value tested in field conditions

In this paper, field test results have been demonstrated and evaluated.

## 1. MOTOR YAĞI KULLANIMI VE ÖNEMİ

Bir iş makinesinde çok çeşitli yağ grupları kullanılmaktadır. Bu yağlardan tüketimi en çok olan ve periyodik olarak en sık değiştirilen yağ grubu motor yağlarıdır. Çünkü motor yağları diğer yağlara göre (hidrolik, şanzıman, vb.) daha çabuk özelliğini kaybetmektedir. Motor yağının çok sık değiştirilmesi kullanım miktarını arttırmakta ve buna bağlı olarak maliyetleri yükseltmektedir. Maliyetin yanında kullanılan yağların doğada yok edilmesi ayrıca çevreye büyük zararlar vermektedir. Bu iki sebepten dolayı motor yağlarının maksimum düzeyde kullanmak hem maliyetler açısından hem de çevre sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir.

Motor yağlama sisteminin en vazgeçilmez unsuru motor yağıdır. Motor yağınız ne

kadar sağlıklı olursa, özellikleri ne kadar iyi olursa motor veriminiz ve motor ömrünüz o kadar iyi olacaktır. Motor yağları sistemi hareket hâlindeki tüm motor parçalarını dolaşarak pislikleri temizlemekte ve onları belirli bir çalışma sıcaklığında tutmakla birlikte aynı zamanda parçaların yağlanmasını, aşınmamasını ve soğumasını sağlamaktadır. Bu sebeplerden dolayı bir motorun verimine ve ömrüne etki eden en önemli faktörlerden biri yağlamadır.

Motorlarda kullanılan yağların başlıca görevleri şunlardır:

- ✓ Birbiri üzerinde hareket eden madeni parçaların doğrudan doğruya temas etmelerini önleyerek parçaların aşınmasını ve güç kaybını azaltmak
- ✓ Isınan motor parçalarının soğutulmasına yardım etmek
- ✓ Parçalar arasında oluşan pislikleri temizlemek

- ✓ Piston, segman ve silindir cidarları arasından kompresyon kaçağını önlemek
- ✓ Yatak ile muylu arasındaki boşluk nedeni ile meydana gelecek vuruntuyu yok ederek gürültü ve sesleri azaltmak.

Tüm bu görevlerin hepsi birbirinden önemli olup bu görevlerden bir tanesinin yapılamaması motorun zarar görmesine sebep olmaktadır.

Motor yağları yukarıda bahsettiğimiz gibi önemi büyük olmakla birlikte sarfiyatı da yüksektir. Örneğin bir hidrolik yağı bir iş makinesinde 2500 saatte değiştirilmekte iken motor yağı ise ortalama 200 saate değiştirilmektedir. Değiştirme sıklığının bu kadar fazla olması bu konunun önemini arttırmaktadır.

- ✓ Motor yağına toz var
- ✓ Motor yağında talaş oluşumu var.
- ✓ Oksidasyona bağlı TBN düşüşü

İlk üç madde operatör veya tamir bakımıcının tecrübesine bağlı olarak elle, gözle veya koklayarak kısmen tespit edebileceği arızalardır. Ancak güvenilirliği düşük olup çok bariz bir belirlenlik yoksa tavsiye edilen bir durum değildir.

Son madde hariç diğer tüm maddeler motorda meydana gelen arızalar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Motor üzerinde herhangi bir arıza meydana geldiğinde, (Örn: yakıt kaçağı sonucu motor yağına yakıt karışması) arıza sonucu yağ kirlenerek özelliğini kaybettiğinde yağ değişim yapılır. Buna bağlı yağ değişimi yapıldığında sorunun yağın ömrünün bitmesine bağlı özelliğini kaybetmesinden kaynaklı değil de arızadan kaynaklı olduğunun ayırt edilmesinin büyük önemi vardır. Çünkü çözüm olarak sadece yağı değiştirmek sorunu çözmeyecektir. Yeni konulan motor yağına da yakıt karışacağından, yakıt kaçağını giderdikten sonra yeni motor yağını koymak gerekmektedir.

Yukarıda açıklamaya çalıştığımız, arıza sonucunda motor yağının değiştirilmesinin motor yağın ömrünün bittiği anlamına gelmemektedir. Bu yazıdaki amacımız, hiç arıza meydana gelmeden ve motor yağına dışarıdan bir sıvı karışımı olmadan motor yağının gerçek ömrü ne olur sorusunun cevabını bulmaktır.

Motor yağı değişim periyodunun yüksek saatlere çıkarmak için öncelikle motor yağının ömrünü kısaltan etkiler doğru belirlemek gerekir. Diğer yağlar uzun süreler çalışabilmekte iken motor yağının neden kısa çalıştığını, ve buna etki eden değişkenlerin ne olduğunu doğru belirlememiz sonuca yaklaşmamızı kolaylaştıracaktır.

## 2 MOTOR YAĞLARININ DEĞİŞİM SEBEPLERİ

İş makinelerinde motor yağları aşağıdaki şartlarda değiştirilmektedir:

- ✓ Periyodik bakımlarda
- ✓ Analiz sonuçlarında çıkan problemlerde
- ✓ Operatörün veya tamir bakımıcının tecrübesine göre elle, gözle yada koklayarak yaptığı incelemede bir sorun gördüğünde.

Bu üç maddeyi sırayla incelediğimizde; en çok yağ değişimi periyodik olarak yapılan bakımlarda yapılmaktadır. Periyodik bakımlarda yapılan yağ değişimleri tamamen makine üreticisinin tavsiyesi yönünde belirlenmiş olup, herhangi bir arızaya ya da soruna bağlı değildir.

Diğer iki madde incelendiğinde; yapılan yağ değişiklikleri araçta meydana gelen arızaya bağlı olarak motor yağında oluşmuş bozulmalar neticesinde yapılır. Analiz sonuçlarına göre aşağıdaki durumlarla karşılaşıldığında yağ değişimi yapılmaktadır.

- ✓ Motor yağında viskozite değişimi
- ✓ Motor yağında su var
- ✓ Motor yağında yakıt var

## 3 MOTOR YAĞLARININ BOZULMA SEBEPLERİ

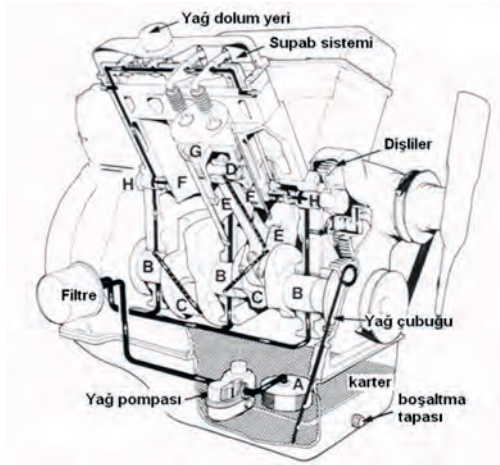
Ham petrolün rafinasyonundan elde edilen mineral yağlar, hidrokarbon bileşiminden oluşmaktadır. Bu hidrokarbonlar üç tiptir:



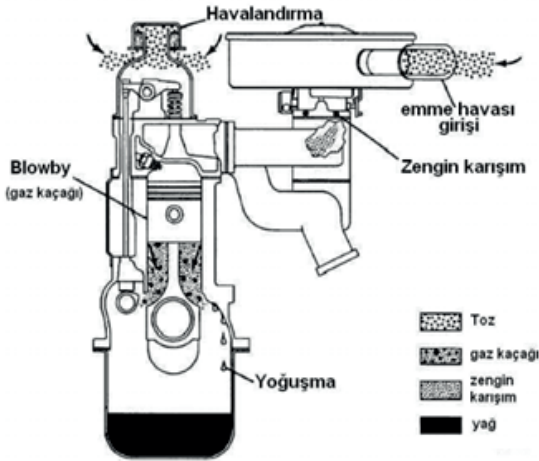
**Parafinler;** düz ve dallanmış şekilde karbon atom zincirinden meydana gelir. Dallanmış zincirler yağlama yağlarında önemli miktarda mevcuttur.

**Naftenler veya siklo-parafinler;** tek veya halka şeklindeki zincirden oluşur.

**Aromatikler;** tek benzen halkası, çift naftalen halkası ve üç antrasen halkasından ibarettir. Yapıları parafinik ve naftenik hidrokarbonlara göre daha kolay saldırıya uğrayabildiklerinden, reçine ve korozyif ürünlerin oluşmasına önderlik eder.



Şekil 1. Motor yağlama sistemi.



Şekil 2. Motor üzerinde yağ eskimesi oluşumu.

Baz yağdaki hidrokarbon yüzdeleri şu mertebededir:

- ✓ Parafinler % 75-85
- ✓ Naftenler % 13-20
- ✓ Aromatikler % 6-10'dur. (Warrens C.P., fluid lubrication).

Yağlayıcılar zor şartlar altında çalışma performansı ve kabul edilebilir motor ömrünün sağlanması açısından geniş sayıda katkı maddeleri içermektedir. Bu maddeler aşınma önleyici, deterjan-dispersan, sürtünme önleyici (viskozite indeks arttırıcılar), köpük önleyici, pas önleyici, korozyon önleyici, aşırı basınç katıkları olarak sıralanabilir. Ancak yağlama yağlarının eskimesi kaçınılmazdır.

İçten Yanmalı Motorlarda madeni yağların bozulmasına sebep olan 2 önemli faktör bulunmaktadır:

- ✓ Oksidasyon nedeni ile fiziksel ve kimyasal değişikliklerin ortaya çıkması,
- ✓ Yanma odasından karışan maddeler ile kirlenme.

Motorun çalışma şartları oksidasyona çok uygundur. Yağ buharları ile hava karter içerisinde yüksek sıcaklıklarda temas halindedir. Sıcaklık yanma bölümünde çok daha yüksektir. Aynı zamanda silindir cidarında, piston ve segmanlarda yağ filmi yüksek sıcaklığa maruz kalır. Söz konusu bu bölümlerde sıcaklığa bağlı olarak çeşitli oksidasyon ürünleri oluşur. Karterde asitli maddeler ve kompleks karbonlu bileşikler meydana gelir. Yanma odasında ve piston-segman etrafında karbon partikülleri toplanır. Bu partiküllerin bir kısmı kartere geri döner, geri kalan kısmı ise yanma bölümünde kalır. Bütün bu kirlenmeler neticesinde asit konsantrasyonu fazla olan yağ, yatakların korozyonuna ve motorlarda aşınmaların artmasına sebep olur.

Oksidasyon, bir yağın hizmet ömrünü azaltan en mühim faktördür. Bütün yağlar oksijene maruz kalmaları neticesinde fazla miktarda okside olurlar. Ana reaksiyon ürünleri peroksitler olmak üzere ilerleyen reaksiyonlarda bunlar alkol, keton, aldehid ve karboksilik asitlerin oluşmasına sebep olurlar. Bu malzemeler, baz yağa benzer molekül ağırlıklarına sahip olup, karışım içerisinde kalmaktadırlar. Oksidasyon prosesi ilerledikçe bu ürünler, takip eden reaksiyonlar sonucu daha da büyük ağırlıktaki moleküllere dönüşüp yağda erimez hale gelirler. Bu moleküller yüksek

sıcaklıkta yağı kalınlaştırıp çamur ve lak teşekkülünü sağlarlar. Yüksek viskozite indeksli, çok iyi rafine edilmiş parafinik yağlar asit ve korozyon oluşumuna elverişlidirler. Düşük viskoziteli indeksli aromatik yağlar ise çamur ve lak teşekkülüne uygundur (Shell Tek. Bül, 1971: Schilling A., 1962).

İçten Yanmalı Motorlarda kullanılan bazı metaller adeta oksidasyon katalizörleridir. Bunlardan bakır, kurşun ve demir çözünlükte aktif bir rol oynarlar. Düşük moleküler ağırlıktaki asitler, suda çözümleri neticesi daha aktif hale gelerek, metallere nüfuz ederler. Aynı zamanda bu asitler uçucu özelliğe sahip ise yağ seviyesi üzerinde paslanmaya sebep olur.

Çamur, okside olan moleküllerin polimerizasyonu neticesinde meydana gelen yağdaki çözünmez maddedir. Bilhassa aromatik komponentler polimerizasyona yatkındır. Aromatik halka, parafinik yan zincirini parçalayıp ayırması ile kendine benzer gruplarla birleşir. Bu tip polimerizasyon genellikle düşük moleküler ağırlıktaki maddelerin meydana gelmesi neticesinde gelişir ve yağın viskozitesinin de yükselmesine yol açar. Oksidasyon sonucu yağın rengi de kararır. Polimerizasyonun yeteri kadar gelişmesi, yüksek moleküler ağırlıktaki oksidasyon ürünlerini yağdan ayırır. Bunların yağda dağılmış olarak kalmaya devam etmeleri, çözünmeyen maddeler şeklinde oksidasyon çamuru meydana getirilir. Bunlar da şekilde yağ kanallarını tıkayıp, ısı transfer yüzeylerini düşürebilirler.

Lak, polimerize olmuş maddelerden meydana gelmiş olup, ince film halinde sıcak yüzeylerde bulunan yağın oksitlenme şartlarında teşekkül eder. Oksidasyon lakı, parçaları birbirine yapıştırır ve onların birbirine göre hareketini önler. Laklar, motorların piston eteklerine yerleşen, az çok renkli, %10 ila 20 arasında oksijen ihtiva eden, plastik ürünlere benzeyen oksiasitlerdir. Lak'ın diğer bir adı ise verniktir (Shell Tek. Bül., 1971).

Oksidasyon hızına tesir eden bir çok faktör vardır. Bunlar sıcaklık, oksijen durumu, katalizörler, yağın bileşimi-katkı maddeleri

ve yeni yağla değişim aralığıdır. Sıcaklığın etkisi önemlidir, zira sıcaklıktaki her 8-10 °C'lık yükselme reaksiyon hızını iki misli artırır. Yağlama yağının motorlardaki çalışma sıcaklığı 50-300°C aralığında değişmektedir. Yağların oksidasyonu 100°C'ın altında yavaş seyretmekte, 200°C'ın üzerinde ise oldukça hızlanmaktadır (Schilling A. 1962).

Yanma olayından dolayı oluşan ana maddeleri yakıt, su ve is teşkil etmektedir. Yakıt buharlaşmasının yeterli olmayışı ya da daha fazla zengin bir karışım kullanılması nedenlerine bağlı olarak ortaya çıkan, henüz yanmamış yakıt, yağı seyreltmek suretiyle yanma odasından kartere sızar. Yağlayıcının fazla miktarda seyreltilmesi, yağ viskozitesinin istenilen seviyenin altına düşmesine sebep olmaktadır. Yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan su, motor sıcaklığı yüksek iken buhar halinde egzozdan dışarı atılır. Ancak motor soğuk iken sıvı halindeki su karterde toplanır. Su ile kirlenme aynı zamanda soğutma sisteminin su sızdırması ile de ortaya çıkabilir ve bu durum antifriz solüsyonları kullanıldığında tehlikeli olabilir. Bilindiği gibi Diesel motorlarında is oluşumu; yanma odası içerisinde, sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde yeterli oksijenin bulunmaması sonucu gaz fazındaki yakıt moleküllerinin katı partiküllere dönüşmesi ile meydana gelir. İsin büyük çoğunluğu egzozdan dışarı atılır, ancak bir kısmı ise piston ve silindirdeki yağa karışıp kirllettikten sonra kartere sızar. Benzinli motorlarda yakıt katıklarından kurşunlu bileşikler yağlama yağına karışabilmektedir. Söz konusu bu katı kirleticiler, su ve yağ ile birlikte çamur haline gelirler. Bu çamurun karterde birikmesi veya yağ ile dolaştırılması yağ hatlarında tıkanıklığa yol açar. Yağ dağıtım sistemine konulan yağ filtreleri vasıtası ile bunlar toplanır. Ancak partikül miktarının artması, filtrelerin tıkanmasına yol açabilmektedir (Mad. Yağ Şube Müd., 1980).

## 4 MOTOR YAĞLARININ ÖZELLİKLERİNİ KAYBETME NEDENLERİ

Motor yağının özelliğini kaybetmesinde 2 etken önemlidir.

- ✓ Oksidasyona bağlı asidik etkinin artması
- ✓ Yağdaki kirlenme

Yukarıda belirttiğimiz iki etki motor yağının görevlerini yapabilmesini engellemekte ve buna bağlı olarak ta motor verimini düşürmektedir. Bu sebeple motor yağının bu bozulmalarını ortadan kaldırmak ya da etkilerini azaltmak için önlemler alınmıştır. Örneğin filtre sistemi kirlenen yağ temizleyerek motora devamlı olarak temiz yağ verilmesini sağlamaktadır. Oksidasyonu önlemek için ise asitlenmeyi önleyici katkı maddeleri kullanılmaktadır. Motor yağının içinde bu asitlenmeyi önleyici ne kadar katkı maddesi varsa yağ o kadar uzun ömürlü olacaktır.

Oksidasyon sonucunda oluşan asitlenme etkisi motor içerisinde korozyona sebep olmaktadır. Korozyon neticesinde motor parçaları aşınmakta ve motor ömrü azalmaktadır. Oksidasyona bağlı asitlenme etkisini arttıran bir çok etmen vardır. Bu etmenlerin en önemlisi yakıttır. Bir araçta ne kadar fazla yakıt kullanılırsa o yağ eskimesi o kadar fazla olacaktır. Çünkü yağın korozyon etkisini en çok yakıt arttırmaktadır.

## 5 TBN DEĞERİ ÜZERİNDEN MOTOR YAĞI ÖMRÜNÜN BELİRLENMESİ

6,5 m<sup>3</sup> kepçe kapasitesine sahip 200 çalışma saatinde motor yağı değişimi verilmiş iki adet hidrolik ekskavatör düşünelim. Bu ekskavatörlerden bir tanesi söküm yapacağı bir işte çalışsın, bir tanesi de kum ocağında çalışsın. Sökümde çalışan makinenin saatte yaktığı ortalama yakıt 101lt/h, diğerinin yakıt ortalaması ise 82 lt/h olsun.

- ✓ Sizce iki makinenin motor yağları aynı oranda mı yorulmuştur?

- ✓ İki makinenin motor yağlarını 200 saatte değiştirmek doğru mu?
- ✓ Peki bu 200 saat hangi makineye göre belirlenmiştir?

Aslında bu soruların cevabı basittir.

Bu makinelerin motor yağları aynı oranda yorulmamıştır.

İki makinenin motor yağını aynı saatte değiştirmek doğru değildir.

En zor şartta çalışan araca göre belirlenmiştir.

Peki bu şartlar altında makinemizin motor yağı değişim periyodunun neye göre belirlemeliyiz?

Her hangi bir arızası olmayan(yakıt kaçağı, su kaçağı, aşınma vb.) bir aracın periyodik bakımda motor yağının değişip değişmeyeceğine “toplam baz sayısına” (TBN) bakarak karar verebiliriz. Çünkü TBN yağda oksidasyon sonucu oluşan asidik etkiyi nötrlemeye yarayan katkı maddelerinin miktarını ifade eder. Eğer bir motor yağı yeteri miktarda “toplam baz sayısına” sahipse oksidasyon sonucu oluşan asidik etkiye bağlı korozyon oluşmaz. Buda motor yağının ömrünün bitmediği anlamına gelir. Yani yeteri miktarda TBN varsa yağ hala kullanılabilir.

### 5.1 TBN Nedir?

TBN – Total Base Number, Toplam Baz Numarasıdır ve yağ numunesinin içinde ne kadar aktif katık kaldığını gösterir. TBN katığının yanma sırasında açığa çıkan zararlı asitleri nötralize eder. Optimum TBN seviyesi, yağlarını normal kullanım süresinden daha fazla kullanmak isteyenler için yağ seçiminde önemli bir parametredir.

Kullanılmış bir yağın TBN’i ile aynı yağın hiç kullanılmadan önce ki TBN’i kıyaslandığında, asitleri nötralize etmek için ne kadar katık kaldığı belirlenebilir.

Bilindiği gibi yağın fonksiyonu, motoru yağlamak, temizlemek ve soğutmaktır. Performans katıkları bu fonksiyonları güçlendirmek için ilave edilir.

Motorinin en önemli karakteristiği içindeki kükürt miktarıdır. Motorin içindeki kükürt

miktarı, benzin ve gaz yağına nazaran fazladır.

Yakıt içindeki kükürt, karbon gibi yanarak kükürt trioksit(SO<sub>3</sub>) oluşturacaktır. SO<sub>3</sub> gazının su ile birleşerek meydana getireceği sülfürik asit ise çok şiddetli bir aşındırıcıdır. (SO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Sülfürik Asit)

Bu gibi aşınmaları önlemek amacıyla yakıtlardan kükürdü temizleme işlemi vardır. Fakat çok maliyetli olduğundan motorin içinde normal olarak %1'e kadar kükürde izin verilmekte ve bunun kötü tesiri ise TBN katıkları içeren yağlarla giderilmektedir.

TBN, yağda kalan baz miktarıdır. Genelde 4,0-14,0 aralığındadır ( yağın benzinli veya dizel motorlar için olmasına bağlı olarak değişir). TBN sayısı giderek düşecektir. Çünkü oluşan asidi nötralize etmek için baz kullanılacaktır. Yüksek TBN değeri yağın içinde çok miktarda aktif katık kaldığı anlamına gelir. Düşük TBN değeri çok az TBN katığı kaldığını gösterir. Yüksek TBN değeri, kükürt oranı yüksek katıklarda motoru paslanmaya, korozyona ve aşınmalara karşı koruyacaktır.

Bilimsel şekilde ifade etmek gerekirse TBN testi, yağlar için yapılan iki "nötralizasyon sayısı" testlerinden biridir. ASTM -D-2896 test metoduna göre yapılır. Diğer test, TAN (Total Acid Number – Toplam Asit Numarası ) testi, ASTM-D-974 test metoduna göre belirlenir. TBN testi motor yağının toplam bazlığını ölçer; yani yanma işleminden veya diğer kaynaklardan oluşan asitlerin zararlı etkilerini gidermek için yağda ne kadar baz katığı olduğunu gösterir.

## 5.2 Hangi TBN Değerinde Yağ Değiştirilmelidir?

TBN motor yağ ömrünü tayin eden bir değerdir. Ancak buradaki ana sorun hangi değere düştüğünde yağ değişimine karar verilmelidir. 13 TBN değerine sahip hiç kullanılmamış bir yağ alıp ve iş makinenize koyduğunuzda 6,5 TBN değerine kadar kullanabilirsiniz. 10 TBN değerine sahip bir yağ almışsanız, 5 değerine düştüğünde değişime karar vermelisiniz. Burada kıstas aslında ilk değer yarısına kadardır. Eğer

düzenli olarak yağ analizi sisteminiz ve laboratuvarınız varsa bu yağ değişim periyodunu kendiniz belirlemeniz çok kolaydır. Eğer kendi analiz sisteminiz ve laboratuvarınız yoksa yeni bir sahada uzun süre çalışacaksanız ve saha şartlarınız çok değişmeyecekse, ilk çalışma ayınızda bu analizleri yaptırarak o saha şartlarında motor yağ değişim periyodlarını kendiniz belirleyebilirsiniz.

Ancak burada şuna dikkat etmekte fayda vardır. Aracınız motor yağı eksiltiyorsa ve devamlı olarak yağ takviyesi yapıyorsanız, ve bu aracın TBN değerini takip ediyorsanız, TBN değerinin düşmediğini göreceksiniz. TBN testi trendi takibi yapılırken ek motor yağı eklenip eklenmediği bilinmelidir. Eğer bu bilinmiyorsa sonuçlar sizi yanıltacaktır.

## 5.3 TBN Değeri Üzerinden Yağ Değişimi Periyodunun Değiştirilmesinin Saha Uygulaması

Aşağıdaki Komatsu WA800 model yükleyicinin belli saatlerde numuneler alınarak yapılan analizler neticesinde oluşturulan aşağıdaki motor yağ sonuçlarını incelendiğinde TBN değerinin 6 değerlerine düşmediği görülmektedir. Bu marka yükleyici 150 lt'ye yakın motor yağı almaktadır. Test süresince 20 lt yağ ilave edilmiştir. Normalde bu şartlar altında 200 saat de yağın değişmesi gerekmekteydi. Yapılan sonuçlarda yağın 500 çalışma saatlerinde daha çalışabileceği görülmektedir.

Çizelge 5.1. Yağ çalışma saati-Tbn değişim tablosu

TARİH	YAĞ. ÇAL. SAATİ	TBN
01.07.2015	43	10.56
09.07.2015	107	9.87
21.07.2015	187	8.45
30.07.2015	279	8.12
08.08.2015	343	7.69
19.08.2015	313	7.18
27.08.2015	471	6.72

Aşağıdaki sonuçlar ise başka bir Komatsu WA800 model yükleyicinin motor yağ sonuçlarıdır. Sonuçlar incelendiğinde 581

çalışma saatinde TBN değerinin 6 değerlerine düşmediği görülmektedir. Bu makineye test süresince 50 lt ek yağ konulmuştur. Normalde bu şartlar altında 200 saat de yağın değişmesi gerekliydi. Ancak ölçümler ile motor yağı 581 saate ulaşmış, şu şartlar altında yaklaşık 2 kat fazla çalışmış durumdadır.

Çizelge 5.2. Yağ çalışma saati-Tbn değişim tablosu

TARİH	YAĞ. ÇAL. SAATİ	TBN
08.07.2015	62	10.48
21.07.2015	123	10.12
29.07.2015	195	9.94
05.08.2015	237	9.67
19.08.2015	298	9.34
21.08.2015	371	9.06
29.08.2015	420	8.72
08.09.2015	495	7.61
17.09.2015	581	8.79

Yukarıdaki tablolar, 200 saatlik periyodik bakımlarda yağı değiştirmenin doğru olmadığını, bu şekilde değişim ile motor yağının ancak %50 sini kullandığımızı açıkça göstermektedir.

Yapılan saha test çalışmalarında neredeyse her araçta bu sonuçlar çıkmıştır. Bu sebeple her model aracımızda test sonuçlarına göre motor yağı değişim periyodlarını uzatmış bulunmaktayız. Aşağıdaki tabloda revize edilmiş değişim periyodları görülmektedir.

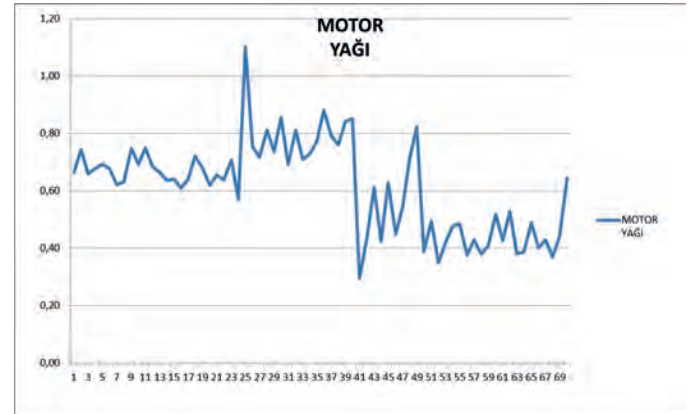
Çizelge 5.3 Yağ değişim periyodlarının revize edilmiş saatleri

MODEL	ADET	ESKİ	REVİZE
-------	------	------	--------

		DEĞİŞİM SAATİ	EDİLMİŞ REVİZE SAATİ
630 ES(KAMYON)	10	200	500
HD785-1/2	85	200	500
YÜKLEYİCİLER	14	250	NUMUNEYE GÖRE
EKSKAVATÖRELR	12	125	NUMUNEYE GÖRE

Yaklaşık olarak 5 senedir yaptığımız test çalışmalarını neticesinde yukarıda yapılan değişim periyodları 2014 yılının ortalarından itibaren uygulamaya başlanmıştır. Uygulama neticesinde önemli oranda motor yağ sarfiyat miktarlarımız azalmıştır. Ege Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü olarak yıllık motor yağ kullanım miktarımız kademeli olarak 170.000 litreden, 70.000 litreye düşmüş bulunmaktadır. Aşağıdaki grafikte kamyonların 2011 yılından itibaren araçların çalışma saati başına kullandıkları yağ miktarı (lt) görülmektedir.

Çizelge 5.4 2011-2016 yılları arasında araçların motor yağı kullanım oranı (lt/h)



Makine üreticileri motor yağı değişim periyodlarını en zor koşullara göre belirlediklerinden ve garanti kapsamı sürecinde motorun zarar görme riskini daha aza indirmek amacıyla periyodları kısa tutma yolunu seçmişlerdir.

İşletmelerin motor yağ değişimlerini TBN ölçümüyle belirlemeleri verimlilik açısından büyük önem kazanmaktadır. Bu yöntem gemi motorlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Hatta gemi motorlarında TBN düşüşü meydana geldiğinde yağı değiştirmek yerine, bir miktar eski yağ motordan alınarak onun

yerine yeni yağ konulur. Böylece TBN değeri yükseltilir ve yağ kullanılmaya devam edilir.

Sonuç olarak kendi laboratuvarına sahip işletmelerin her yağ türü için, yağ değişimlerini periyodik değişimlerden kurtarıp, numune sonuçlarına göre yağ değişimi yapmaları maliyetlerini düşürecektir. Buna bağlı olarak ta bu tür işletmelerin verimlilikleri yüksek olacaktır. Bundan daha önemlisi madeni yağlar çevreye büyük zarar vermektedir. Motor yağının verimli kullanılması çevreye verdiği zararları aşağıya çekecektir.

Maliyetinin yüksek olması sebebiyle her işletmenin kendi yağ laboratuvarını kurması mümkün değildir. Yağ laboratuvarına sahip olmayan işletmeler için ise saha ölçümlerini bir seferliğine özel laboratuvarlara yaptırarak, yağ değişim periyodlarını çıkan bu sonuçlara göre belirlemeleri hem maliyet açısından hem de çevre güvenliği açısından onlara avantaj sağlayacaktır.

## 6 KAYNAKLAR

Kaleli H; <http://www.yeniatmaca.com/motor-yatagi-pdf-makale/icten-yanmali-motorlarda-asinma-ve-bakim>.

[http://www.speedol.com.tr/madeni-yagin-ne-zaman-degistirilmesi-gerekir/Soyadi, Adinin ilk harfi, yıl. Bildirinin başlığı, Kongre, Sempozyum vb. Kitabının adı \(varsa seri numarası\), cilt, sayfa aralığı \(ör. s.46-52\), yeri](http://www.speedol.com.tr/madeni-yagin-ne-zaman-degistirilmesi-gerekir/Soyadi, Adinin ilk harfi, yıl. Bildirinin başlığı, Kongre, Sempozyum vb. Kitabının adı (varsa seri numarası), cilt, sayfa aralığı (ör. s.46-52), yeri).

Megep motorlu taşıtlar teknolojisi periyodik bakımı  
Ankara 2011

# Kuvars İşletmesi'nde Bigbag Taşıma Sisteminin Demir Bigbag Taşıma Sistemi ile İyileştirilmesi

A. K. Çakır, A. Demirel, N. Çetin

*Mikroman Maden A.Ş., Makine Yük. Mühendisi, Yatağan, Muğla*

**ÖZET** Şirketlerin verimlilik ve karlılığın maksimize edilmesi, işletme maliyetlerin azaltılması, iş sağlığı ve güvenliğinin artırılmasına yönelik uygulamalar için, işletme bünyesinde etüt çalışmaları ile tasarruf ve güvenlik potansiyelinin kazanılması esasına dayanır.

Bu kapsamda, işletmemizin Mikronize bölümünde ürün ve ara ürünler, poliprobilen esaslı bigbag çuval ile taşıma ve paketleme sürecinde yaşanan olumsuzlukların, Demir Bigbag tasarım ve uygulaması ile giderilmesi amaç edilmiştir.

Projenin uygulanması aşamasında, ilk olarak bir adet 1100 Lt'lik Demir esaslı (3 mm St-37 sac malzeme) konteyner (Demir Bigbag) tasarlanarak imalat aşamasına geçilmiştir. Pilot olarak 1 adet yaptırılarak tesiste denemesi yapıldı. Bir adet forklifte otomatik ağırlık ölçer sistemi montajı yapıldı. Bu sayede Demir Bigbag ile deneme çalışması yapıldı.

Prototip imalatı tamamlanan Demir Bigbag, farklı zamanlar olmak üzere, taşımada 2 hafta süre (1.Vardiya 08:00-16:00) ile denenmiştir. Denemeler öncesi, çalışma şartları gözden geçirilmiş olup, personel Demir Bigbag çalışması ve güvenli kullanımı konusunda eğitilmiştir.

5 adet Demir Bigbag yaptırılarak, öncelikle ürün ve ara ürünlerin boşaltma, taşıma ve paketlemesinde kullanılmasına başlanmıştır. Yapılan bu değişiklikler sayesinde ilk örnek çalışması istenilen şekle getirilmiştir.

Çalışmalar sonunda maliyetlerin irdelenmesi ve uygulamaya yönelik hedeflerin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin tespit edilmesidir. Bu kapsamda, eski sistemde kullanılan poliprobilen esaslı bigbaglerin kullanımı ve proje sonrası fire kayıplarının hesaplanmasına dayalı analiz çıkartılmıştır. Bu durum Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2 incelendiğinde, 2013 yılında 33034 adet bigbag firemiz varken, sistem ve operasyonel eksiklikler nedeniyle, önleyebileceğimiz 19043 adet bigbagi fire verdik. 2014 yılında ise, yine benzer yolla 25205 adet önleyebileceğimiz fire verdik. 2015 yılında ise fire miktarı, üretim kaybının da gerçekleşmesi ile 24414 adet olarak kayıplarımıza geçmiştir. Demir Bigbag projemizin deneme çalışmalarının 2015 yılında başlaması ve geri bildirimlerinin olumlu olarak gözlemlenmesi neticesinde, 2016 yılındaki fire bigbag adetinin 19231 adet olacağı öngörülmüştür. Bu rakam fiili olarak önlenecek fire miktarıdır.

**ABSTRACT** The company is based on maximizing productivity and profitability is reducing operating costs, improving and operating occupational health and safety, and saving and securing safety potential in business operations and business operations.

In this context, it was aimed to eliminate the problems experienced in the transportation and packaging process with the products and intermediate products, polybrominated bigbag sacks in the micronized part of our operation with Iron Bigbag design and application.

During the process of application of the project, firstly, we based 1100 Lt iron (3 mm St-37 sheet material) container (Iron Bigbag) was designed and passed to manufacturing stage. A pilot test was done by making 1 pilot. One forklift automatic weight measuring system was installed. Experiment work with Iron Bigbag was done on this.

Iron Bigbag, whose prototype production has been completed, has been tested with the transport for 2 weeks (1st shift 08: 00-16: 00), at different times. Before the tests, the working conditions were kept in mind and the staff was trained in the operation and safe use of the Iron Bigbag.

Five Iron Bigbags have been built and it has been started to use the products and intermediate products for unloading, transportation and packaging. Thanks to these changes, the first sample work was brought to the desired level.

At the end of the studies, the costs are examined and it is determined whether the objectives for the implementation will be realized. In this context, the analysis based on the calculation of the use of polybrominated bigbags used in the old system and the calculation of post-project waste losses. This situation is shown in Table 2.

When we look at Table 2, we see that there are 33034 BigBag fires in 2013, and 19043 bigbag fires that we can avoid due to system and operational deficiencies. In 2014, we again gave fire to prevent 25205 in a similar way. In the year 2015, we recorded 24414 pieces of waste due to the loss of production and loss of production. It is predicted that the number of fire bigbags in 2016 will be 19231 as the start of the trial work of the Iron Bigbag project in 2015 and the positive feedback of its observations. This figure is the actual amount of waste to be avoided.

## 1 GİRİŞ

Mikroman Maden San. ve Tic. A.Ş. firması, Hisarardı Mah. Yazkır Mevkii Yatağan/Muğla adresinde faaliyet göstermekte olup, tesiste kırma - eleme ve mikronize öğütme yapılmaktadır. Tesisin yıllık üretim kapasitesi 15.000.000 kg öğütülmüş kuvars ve feldspattır. Tesis yerleşim yerine ait detay Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1 Tesis Uydu Görüntüsü (Mikroman, 2014).



Şirketimiz verimlilik ve karlılığın maksimize edilmesi, işletme maliyetlerin azaltılması, iş sağlığı ve güvenliğinin arttırılmasına yönelik uygulamalar için, işletme bünyesinde etüt çalışmaları ile tasarruf ve güvenlik potansiyelinin kazanılması esasına dayanır.

Bu kapsamda, işletmemizin Mikronize bölümünde ürün ve ara ürünler, poliprobilen esaslı bigbag çuval ile taşıma ve paketlenme sürecinde yaşanan olumsuzlukların, Demir Bigbag tasarım ve uygulaması ile giderilmesi amaç edilmiştir. Bu doğrultuda belirlenen projenin hedefleri aşağıda sunulmuştur;

- Taşıma ve paketlenme sürecinde bigbag yırtılması nedeniyle saçıntı-döküntü kaynaklı ürün ve ara ürünlerin minimize edilmesi,
  - Paketlenme sürecinde işgücü azaltılması,
  - İş Sağlığı ve Güvenliğinin arttırılması,
  - Bigbaglerdeki yırtılma, deformasyonun minimize edilmesi,
  - Operasyon sürecinde deforme olan poliprobilen bigbag sayısının azaltılarak çevreye duyarlılığın kazanılması,
  - Kantarlar sebebiyle oluşan tartım farklılıkları nedeni ile kalibrasyon ve doğrulamaya ihtiyaç duyulması,
  - Ürün ve ara ürün silo altlarındaki otomatik kantar sistemlerinin çalışma koşulları gereği sık sık arızalanması nedeniyle sevk edilen ürünlerin tonajında farklılıklar oluşmasının engellenmek istenmesi,
- Maliyetlerin azaltılmak istenmesi.

### 1.1. Yönetimin Liderliği

Projenin araştırılması, yöntem ve metot seçiminde, ilk örnek makinenin imalatında ve uygulama denemelerinde her türlü maddi ve manevi destek işveren tarafından sağlanmıştır. Özellikle ilk imalatın yapılması ve uygulama denemelerinde her türlü olumsuzluklar göz önüne alınmıştır. Bu durum, proje ekibine büyük motivasyon sağlamış olup, çalışmanın verimliliğine ve başarısına çok büyük etken olmuştur.

## 2 MATERYAL VE METOD

Mikronize ünitesi ürün ve ara ürünlerin taşınmasında ve paketlenmesi sürecinde yaşadığımız çeşitli sorunlar bu konunun üzerine eğilmemize sebep olmuştur.

Doldurma, taşıma ve paketlenmedeki problemler aşağıda başlıklar halinde sunulmuştur;

- Bigbag deformasyonundan kaynaklı ürün firesinin minimize edilmesi,
- Ürünün kalite kontrol zorluğu,
- Bigbag'li ürünün taşıma ve lojistik zorluğu,
- İşletme içerisinde doldurma ve boşaltmada sıkıntılar,
- Bigbagin bir kez, en çok iki kez kullanılabilmesi,
- Yırtılma, delinme ve çarpma kaynaklı fire bigbaglerin bertaraf ve maliyet boyutu,
- İşçilik zorlukları.

Bu sorunlar ayrı ayrı çözülebilir. Ancak, amacımız bu sorunun hepsinin birlikte çözülmesidir. Bu sebeple, 2013 yılında ilk olarak Mikronize ürün prosesinden çıkan atıkların bertaraf edilmesi projelendirilmiştir. Artık ve atık sorunlarının bertarafı için seçilen yöntem Yoğun Faz Taşıma Sistemi olmuştur. Bu yöntem 200.000 Euro'luk bir yatırım ile 2014 yılında gerçekleştirilmiş yılsonunda başarı ile uygulamaya başlanmıştır.

Ürün ve ara ürünlerin doldurma taşıma, paketlenme ve istifleme sürecinde yaşanan problemlerin çözümü konusunda, yeni bir metot ve tasarıma ihtiyaç duyulmuştur. Mikronize kuvars ürünlerin 1250 kg lık poliprobilen esaslı bigbagler (Şekil 1) halinde satışa yönelik ambalajlanması gerekmektedir.



Şekil 1. Poliprobilen Esaslı Bigbag (Anonim, 2015).

Yıllık bazda satın alımı gerçekleştirilen poliprobilen esaslı bigbag ile sevkiyatı gerçekleştirilen ürünlerin ambalajında kullanılan bigbag sayısı karşılaştırıldığında doldurma boşaltma, taşıma, paketlenme, istifleme ve konteynere yükleme sürecinde bigbaglerin delinme yırtılma, çarpma deforme olma, kolçaklarından kopma gibi nedenlerden dolayı ciddi fireler olduğu gözlenmiştir.

Yukarıdaki sorunlar doğrultusunda ilk olarak, işletmemiz Mikronize Ünitesi'ndeki yıllık bigbag kayıplarını tespit ettik. Aşağıdaki Çizelge 1'de yıllara göre bigbag fire sayıları gösterilmiştir.

**Çizelge 1. Yıllara Göre Bigbag Fire Miktarları (Mikroman, 2015).**

Yıllar	Fire Miktarı (Bigbag Miktarı) (Adet)
2013	33034
2014	43723
2015	17936
2016 (Öngörülen)	19231

Yukarıdaki Çizelge 1'den de anlaşılacağı üzere yıllık fire bigbag sayısı yüksektir. Ancak, 2015 yılındaki bigbag fire miktarlarında yüksek bir düşüş gözlenmektedir. Bu durumun sebebi ise, 2014 yılında projelendirilip, 2015 yılında devreye alınan Yoğun Faz Taşıma Sistemidir. Bu sayede, artık ve atıklardaki fire miktarları minimize edilmiştir.

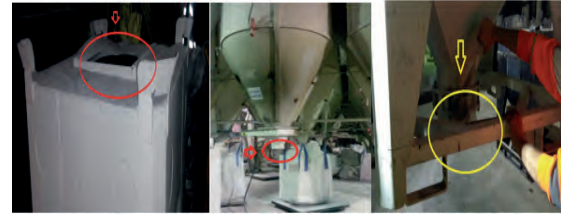
### 2.1. Mevcut Projeye Geçiş

Projenin uygulanması aşamasında, ilk olarak bir adet 1100 Lt'lik Demir esaslı (3 mm St-37 sac malzeme) konteyner (Demir Bigbag) tasarlanarak imalat aşamasına geçilmiştir. Pilot olarak 1 adet yaptırılarak tesiste denemesi yapıldı. Bir adet forklifte otomatik ağırlık ölçer sistemi montajı yapıldı. Bu sayede Demir Bigbag ile deneme çalışması yapıldı. İlk uygulamaya yönelik imalat resmi, aşağıdaki Şekil 2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2. Demir Bigbag Görüntüsü (Mikroman, 2015).**

Uygulama safhasında, silo altı çıkış boğazının, Demir Bigbag dolum ağzına uyumlu hale getirilmesi için silo altlarının tadilatı ve sensörle denk getirilmesi için sinyalizasyon sisteminin monte edilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu tadilat ve montaj işlemleri sonrası, Demir Bigbag dolum ve boşaltım denemeleri tesiste, 17 adet ürün ve ara ürün silolarından 1 tanesinin alt çıkış boğazı, Demir Bigbag dolum ve forklift taşınmasına uygun hale getirilmiştir. Bu duruma ait tasarım denemeleri aşağıdaki Şekil 3'de gösterilmiştir.



**Şekil 3. İmalata Esas Tasarım Denemeleri (Mikroman, 2015).**

Denemeler aşamasında bazı teknik sorunlarla da karşılaşmıştır. Bunlar şu şekildedir;

- ✓ Demir Bigbag dolum ağzının, silo alt çıkış ağzına tam uygun olmaması. Bu durum sebebiyle, operatör dolumu sağlıklı gözlemleyemiyordu.
- ✓ Forkliftte takılan ağırlık ölçerde tartım farklılığı sorunu yaşanmıştır.
- ✓ Silo alt çıkış pnömatik valflerinde (Açma-kapama) joystick sorunları.

Bu sorunlar yerinde tespit edilerek, deneme aşamalarında alınan aksiyonlar ile giderilmiştir.



Operasyon, üç aşamadan oluşmaktadır. Bunlar;

### 2.2.1. Dolum Aşaması:

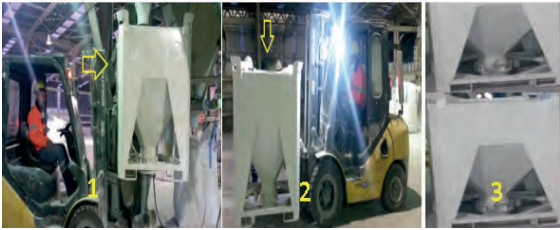
Silo alt çıkışından forklift yardımıyla Demir Bigbage mikronize ürünün doldurulması.

### 2.2.2. Taşıma Aşaması:

Mikronize kuvars doldurulmuş Demir Bigbagen forklift yardımı ile fiziksel analiz yapılması için gruplandırma alanına taşınması.

### 2.2.3. Paketleme Aşaması:

Numunesi alınan ve analiz edilen Demir Bigbag, içindeki Mikronize kuvars uygunluk etiketi ile, müşteriye sevk için ya otomatik bigbag doldurma ünitesine ya da Gbag dolumu için kapalı alanda 2 şerli gruplar halinde istiflenecektir.



Şekil 4. Demir Bigbag Operasyonel Süreçler.

Demir Bigbag 1100 Lt hacimde, 400 Kg ağırlığında olup, işletmemize maliyeti, 1800 TL+Kdv'dir. Bu maliyetlerin içinde, Demir Bigbag 'deki vana, kulak vb. malzemeler dahildir.

Prototip imalatı tamamlanan Demir Bigbag, farklı zamanlar olmak üzere, taşımada 2 hafta süre (1.Vardiya 08:00-16:00) ile denenmiştir. Denemeler öncesi, çalışma şartları gözden geçirilmiş olup, personel Demir Bigbag çalışması ve güvenli kullanımı konusunda eğitilmiştir.

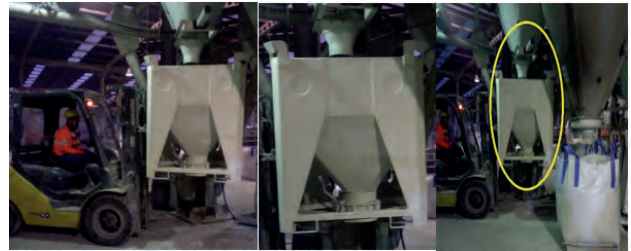
## 2.3. Önleyici Faaliyetlerin Planlanması

Demir Bigbag'lerin malzeme taşınması sürecinde sürtme ve çarpma gibi fiziki durumlar karşısında kolayca deforme olduğu gözlenmiştir. Üst üste iki adet Demir Bigbag istiflenmesinde, üstte konulanda kayma sonucu devrilme riski olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ürün ve ara ürün silo alt çıkış boğazındaki pnömatik valf kumanda kolu yaylı şekle dönüştürülerek forklift operatörünün kullanabileceği şekle getirilmiştir.

Bu olumsuzluklar, ayrı ayrı analiz edilerek çözümler araştırıldı. İlk olarak, 3 mm gövde sacı, 4 mm'ye çıkartıldı. Bu sayede daha mukavim ve güvenli bir Demir Bigbag şekil aldı.

Demir Bigbag üst köşelerine mekanik kulak montajı yapılarak her iki Demir Bigbagen üst üste oturtularak kayma ve devrilme riski önlendi.

Tadilat sonrası 5 adet Demir Bigbag yaptırılarak, öncelikle ürün ve ara ürünlerin boşaltma, taşıma ve paketlemesinde kullanılmasına başlanmıştır. Yapılan bu değişiklikler sayesinde ilk örnek çalışması istenilen şekle getirilmiştir. Uygulamaya ait resimler Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. İmalat Sonrası Uygulama Fotoğrafları (Mikroman, 2015).

Projenin diğer bir sonucu ise, maliyetlerin irdelenmesi ve uygulamaya yönelik hedeflerin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin tespit edilmesidir. Bu kapsamda, eski sistemde kullanılan poliprobilen esaslı bigbaglerin kullanımı ve proje sonrası fire kayıplarının hesaplanmasına dayalı analiz çıkartılmıştır. Bu durum aşağıdaki Çizelge 2'de gösterilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, 2013 yılında 33034 adet bigbag firemiz varken, sistem ve

operasyonel eksiklikler nedeniyle, önleyebileceğimiz 19043 adet bigbagi fire verdik. 2014 yılında ise, yine benzer yolla 25205 adet önleyebileceğimiz fire verdik. 2015 yılında ise fire miktarı, üretim kaybının da gerçekleşmesi ile 24414 adet olarak kayıtlarımıza geçmiştir. Demir Bigbag projemizin deneme çalışmalarının 2015 yılında başlaması ve geri bildirimlerinin olumlu olarak gözlemlenmesi neticesinde, 2016 yılındaki fire bigbag adetinin 19231 adet olacağı öngörülmüştür. Bu rakam fiili olarak önlenecek fire miktarıdır.

### Çizelge 2. Bigbag Kayıplarına Yönelik Hesap Kazanç Tablosu (Mikroman, 2015).

Yıllar	Ürün Satış Miktarı (Ton)	Kullanılan Bigbag Miktarı (Adet)	Bigbag Birim Fiyatı (Euro)	Fire Miktarı (Bigbag Miktarı) (Adet)	Gbag Yük. Kaynaklı Fire Miktarı (Adet)	Diğer Faaliyetlerden Kaynaklı Fire Miktarı (Adet)	Gbag Yükleme (277ton/Adet)	Önlenebilir Fire Miktarı (Adet)	Fire Maliyeti (Euro)	Önlenebilir Fire Kazancı (Euro) (Birim Fiyat x Ön. Fire Mik.)
2013	128754	103003	4,50	33034	0	33034	0	19043	148653	85634
2014	154061	123249	4,50	43723	170	43553	19	25205	196753	113422
2015	149224	119379	4,50	17936	6895	11101	566	24414	80712	109863
2016 (Öngörülen)	16000	128000	4,50	19231	13670	5561	1132	19231	86540	86540

Kırmızı: Önlenememiş bigbag adedi

Mavi: Önlenebilen bigbag adedi

### 3. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Mikronize kuvars ürün taşıma sisteminde değişikliğe gidilmesi ile işletmemizin geri kazanılabilir potansiyel ve tasarruf girdilerinde bir takım artı değerler oluşmuştur. Bu durum aşağıda maddeler halinde çıkartılmıştır.

- 1- Güvenli bir iş ortamı
- 2- Çevreye duyarlı bir sistem
- 3- İşletme maliyetlerinin azaltılması
- 4- Müşteri şikâyetlerindeki azalma
- 5- Kalite kontrol prosesinin işlevselliğinin artırılması

6- İş gücü yoğunluğunun azaltılması şeklinde sıralanabilir.

Kuvars maden öğütme ve işletme tesislerinde, çalışma koşullarının zorluğu ve yoğun işgücünün varlığı nedeniyle mekanizasyon ve otomasyon sistemlerinin uygulanmasına ihtiyaç vardır. Mikronize kuvars öğütme, paketleme ve sevkiyat proseslerinde yaşanan aksaklıkların giderilmesi ve verimliliğin artırılması için yapılan çalışma sonuçlarında birçok geri bildirim alınmıştır. Bunlar;

a) 2013, 2014 ve 2015 yıllarında deformasyon sonucu hurdaya ayrılan poliprobilen esaslı bigbag zayıtı toplam 94693 adet olup 2016 yılı için 19231 adet olması tahmin edilmektedir. Çizelge 2 den de görülebileceği gibi Demir Bigbag kullanımı ile 19231 adet fire önlenebilecektir.

b) Ürün ve ara ürün doldurma, taşıma ve istifleme sürecinde % 0,2 civarında ürün fire kaybı önlenecektir. Bu sayede, yıllar bazında 2013 için; 25750 dolar, 2014 için; 30812 dolar, 2015 için; 29844 dolar işletmemize kazandırılabilirdi. Ancak, uygulamaya 2016 yılı itibari ile geçilecek olması sonucunda (19231 adet bigbag zayıtı önlenecektir) işletmemize 32000 dolarlık bir maddi kazanç sağlanacaktır.

c) 2013, 2014 ve 2015 yılları göz önüne alındığında, müşterilerimizden gelen 19 adet tartım kaynaklı müşteri şikâyeti tespit edilmiştir. 2016 yılında Demir Bigbag kullanımı ile şikâyetlerde %50 oranında azalma olacağı tahmin edilmektedir.

d) 2014 ve 2015 yıllarındaki eski taşıma sisteminden (Poliprobilen esaslı Bigbag ile taşıma) kaynaklanan iş kaza sayısı (Kayıtlarımızda parmak ve el sıkışması olarak bulunmakta) 5 iken, 2016 yılı için öngörülen kaza ihtimalinin en az %50 oranında azalması beklenmektedir.

Ayrıca, projenin işlevliği ile birlikte aşağıda belirtilen farklı alanlarda da bir takım kazanımlar elde edilecektir;

- ✓ Eski dolum, taşıma, paketleme ve sevkiyat sürecinde (Bigbag taşıma), vardiyada 1 sorumlu personel, 1 forklift operatörü ve 3 paketleme işçisi ile toplam 5 işçi çalışılırken, yeni sistemde (Demir Bigbag) 4 kişi çalışacaktır. Paketleme işçisi olarak 2 kişi istihdam edilecektir. Buda işletmeye, yıllık yaklaşık 17000 TL civarında bir tasarruf sağlayacaktır.
- ✓ Mikronize ürünün fiziksel kalite kontrol sürecinde temsili numune almadaki hataların minimize olması öngörülmektedir.

## **KAYNAKLAR**

Anonim,2015.

[http://www.kentatestugla.com/Tr/Content3  
.asp?m1=1&m2=2&m3=4](http://www.kentatestugla.com/Tr/Content3.asp?m1=1&m2=2&m3=4)

Mikroman, 2014. Mikroman Maden A.Ş.  
Uydu Görüntüsü, [www.mikroman.com.tr](http://www.mikroman.com.tr) ,  
2014.

Mikroman, 2015. Mikroman Maden A.Ş.  
Demir Bigbag Projesi, 2015.

# Cüruf Granüle İnba Sisteminde Poliüretan Kaplı Role Kullanılması Ve Avantajları

## *Advantages and Usage of Polyurethane Coated Rollers at Slag Granulation and Conveying System "Inba"*

Ü. Gebenli, İ. Çakmak, İ. Y. Fidan  
*İSDEMİR, Yüksek Fırınlara Müdürlüğü, Hatay*

### ÖZET

Bu çalışmada, İskenderun Demir ve Çelik A.Ş.'de (İSDEMİR) 2011 yılı Ağustos ayında devreye alınan 4 numaralı yüksek fırında cüruf granüle inba sisteminde kullanılan çelik role yerine, poliüretan kaplı role kullanılarak sistemin daha verimli çalışması incelenmektedir. Demir üretimi sürecinde kullanılan yüksek fırınlarda sıvı ham demirin yanında yan ürün olarak çıkan cürufun, inba sisteminde granüle edildikten sonra taşıyıcı bantlar vasıtasıyla taşınması ve bu taşıma sırasında granüle cürufun aşındırıcı özelliğinden dolayı poliüretan kaplı role kullanılmasının avantajları irdelenmektedir.

İSDEMİR yüksek fırınlarında, proses sonrası elde edilen sıvı ham demir ve cüruf, fırın hazne bölgesinde bulunan, döküm deliği olarak adlandırılan bölgelerden fırının dışına alınır. Sıvı ham demir ve cüruf, bu deliklerin özel bir matkap ile açılması ile fırın içerisindeki basınç kullanılarak fırın dışındaki ana kanallara alınır. Sıvı ham demir ve cüruf, özgül ağırlıklarından dolayı ayrıştıktan sonra cüruf, inba sisteminde granüle edilir ve taşıyıcı bantlar vasıtasıyla granüle cüruf stok sahasına gönderilir. Cüruf granüle sisteminde 4920 adet taşıyıcı role bulunmaktadır. Granüle cürufun aşındırıcı özelliği çok fazla olduğu için bandın kritik noktalarında poliüretan kaplı roller kullanılarak sistemin devamlılığı sağlanmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Demir-Çelik, İsdemir, Yüksek Fırın, Cüruf Granüle, Poliüretan Role

### ABSTRACT

In this paper, efficiency of using polyurethane coated rollers instead of steel rollers, at slag granulation "INBA" system, is examined at BF No. 4, Iskenderun Iron & Steel Works Corp. (ISDEMİR) which was commissioned on 17 August 2011. As a part of iron producing process in blast furnaces, slag is obtained as a by-product and in this case, using polyurethane coated rollers at conveying belts to transport granulated blast furnace slag, because of its abrasive characteristics is studied.

At İSDEMİR blast furnaces, after the process reactions liquid pig iron and slag are produced and evacuated from tap holes placed at hearth area of the furnaces. Hot metal and slag are split from each other by the difference of their density. After the split, slag is granulated in "INBA" system and via conveying belts; transferred to the granulated slag stockyard. There are 4920 rollers totally. Because of the abrasive characteristic of the granulated slag, polyurethane coated rollers are used at the critical points of the belts to sustain the conveying system.

**Keywords:** Slag Granulation, Polyurethane Roll, Blast Furnace, Iron & Steel, Isdemir

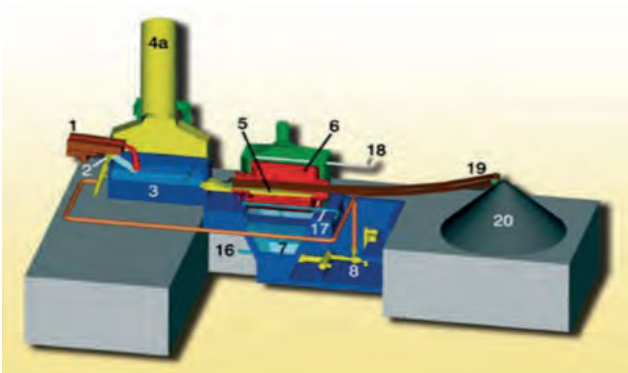
## 1 GİRİŞ

Türkiye'nin en büyük yüksek fırını İSDEMİR A.Ş. de 17 Ağustos 2011 tarihinde devreye alınan 2500 m<sup>3</sup> lük çalışma hacmi ile 4. Yüksek Fırındır. 4. Yüksek fırında günlük sıvı ham demir üretim miktarı ortalama 6500ton/gün, granüle cüruf miktarı 2000ton/gün'dür.

İSDEMİR Yüksek Fırınlarında, proses sonrası elde edilen sıvı ham demir ve cüruf, fırın hazne bölgesinde bulunan, döküm deliği olarak adlandırılan bölgelerden fırın dışına alınır. Haznede fırın ölçülerine göre değişen sayıda döküm deliği bulunur. Sıvı ham demir ve cüruf bu deliklerin özel bir matkap ile açılması ile fırın içerisindeki basınç kullanılarak fırın dışındaki ana kanallara alınır. Cüruf ve sıvı ham demir özgül ağırlıklarından dolayı kanallarda ayrıştıktan sonra cüruf, inba sistemine gelerek granüle hale getirilip, taşıyıcı bantlar vasıtasıyla cüruf granüle stok sahasına gönderilir. Bu çalışmada taşıyıcı role kalitesi ve şekli ile ilgili bilgiler ve kazanılan avantajları irdelenmektedir.

## 2 YÜKSEK FIRIN CÜRUF GRANÜLE İNBA SİSTEMİ VE CÜRUFUN TAŞINMASI SİSTEMİ

4. Yüksek Fırında 2 adet inba sistemi bulunmaktadır. Bu sistemlerle cüruf granüle edilip taşıyıcı bant ve taşıyıcı rölelerle cüruf granüle stok sahasına gönderilir. Toplam 7 adet taşıyıcı bant bulunup, 4920 adet taşıyıcı role bulunmaktadır.



Şekil 1. Cüruf Granüle İnba Sistemi

1	Granüle Başlığı
2	Su besleme
3	Granüle tankı
4	Baca
5	Dağıtıcı (Distribütör)
6	Susuzlaştırma tankı
7	Sıcak su tankı
8	Granüle su pompası
17	Tank temizleme suyu
18	Tank temizleme havası
19	Konveyör bandı
20	Stok bölgesi

Tablo 1. İnba Sistem Bileşenleri

Taşınan Malzeme Cinsi	Granüle cüruf				
	4mm	3mm	2mm	1mm	-1mm
Tane İriliği (mm)	2,40%	2,37%	12,43%	35,07%	47,73%
Tane Yapısı	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	
	42%	33%	12%	6,63%	

Tablo 2. Granüle Cüruf Özellikleri

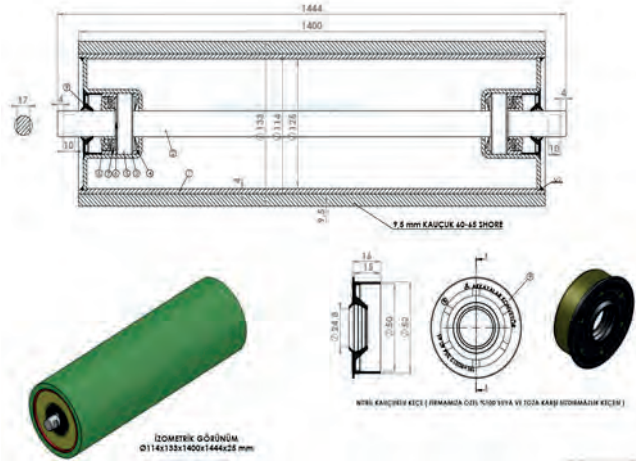


Şekil 2. Poliüretan Kaplı Roleler

### 2.1 Taşıyıcı Roleler

Yüksek Fırınlarda haznede bulunan ergimiş olan sıvı ham demir ve cürufu tahliye ettikten sonra cüruf inba sisteminde granüle oluyor ve buradan taşıyıcı bantlar vasıtasıyla cüruf stok sahasına gönderiliyor. 4. Yüksek Fırında günde ortalama 2000 ton cüruf

taşıyıcı bant ve taşıyıcı rolerler vasıtasıyla taşınmaktadır.



Şekil 3. Poliüretan Kaplı Role Projesi

## 2.2 Poliüretan Kaplı Role Alım Sürecinde Kullandığımız Teknik Şartname Bilgileri.

Granüle cürufun aşındırıcı özelliğinden dolayı poliüretan kaplı role alım sürecinde aşağıdaki teknik özellikler dikkate alınarak şartname hazırlanmıştır.

- Ruloların en az 9mm ile 13 mm arasında yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemeden enjeksiyonla kaplanmış olmalıdır.
- HPDE kaplama 65-75 Shore A olmalıdır.
- Ruloların üzerleri kaplama öncesi yağdan, kirden kesinlikle arındırılmalıdır.
- HPDE kaplama aşınmaya ve korozyona dayanıklı olmalı.
- HPDE kaplama, kesme ve yırtılmaya mukavemetli olmalıdır
- HPDE kaplama 80°C'ye kadar dayanıklı olmalıdır.
- Yukarıda özellikleri belirtilen yüksek fırın cürufuna mukavemetli olmalıdır.
- Rulo boruları; DIN 2458 St 37,2 kalitede, boyuna hassas dikişli borulardan et kalınlığı 4 mm olmalı.
- Rulmanlar kendinden yağlamalı olmalı.
- Sızdırmazlık bölgesindeki rulman yatağı, yağ odaları ve boşluklar DIN 51502'ye

uygun lityum içeren yağ ile doldurulmuş olmalı.

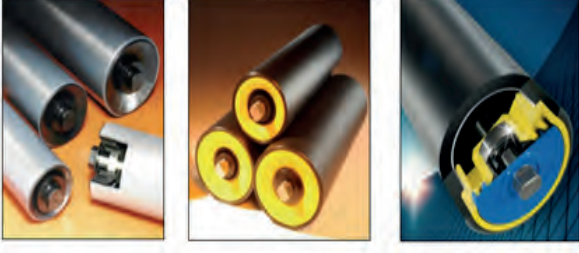
- Rulman yatağı enjeksiyonla kalıplanmış polipropilen olmalı.
- Rulo milleri; Ç 1050 - 1040 Kalite çatlak kontrollü hadde mamulünden imal edilmelidir.
- Firmalar rulolarla ilgili yapacakları imalatın proje dizaynını teklifleriyle beraber vermelidir.
- Kapakları (Toz tutucu) darbeye dayanıklı naylon olmalı, Özel drenaj olukları, merkezkaç kuvvetinden faydalanarak suyu boşaltıp rulmandan uzak tutmalıdır.

## 3 POLİÜRETAN KAPLI ROLE KULLANIMI AVANTAJLARI

- Düşük ağırlık (çelik rulolardan %50 daha az)
- Düşük enerji tüketimi
- Daha az bakım = Emniyet – Daha az yaralanma
- Daha düşük kurulum maliyeti
- Daha kolay nakliye, daha düşük tesis maliyeti
- Düşük ses emisyonu
- Düşük yıpranma / aşınma seviyesi
- Bant dostu= Bant hasarlarında azalma
- Daha yüksek dayanıklılık = Az bakım, düşük maliyet
- Kendini temizleme
- Malzeme birikmesi yok = Saçılma yok
- Bant kayması yok = Konveyörde daha az sorun – Konveyör arıza süresinde azalma
- Kimyasal ajanlara direnç
- Kalite dizaynı: Düşük dönme direnci
- En iyi şekilde tasarım (FEM)
- Düşük ses emisyonu = Çevre dostu
- Düşük enerji tüketimi
- Pas ve aşınma yok = Daha uzun ömür



- Geniş alanda uygulamalara uygundur.



Şekil 3. Poliüretan Kaplı Roleler

#### 4 SONUÇ

2500 m<sup>3</sup>'lük çalışma hacmiyle Türkiye'nin en büyük ve en yeni yüksek fırını olan İSDEMİR 4. Yüksek Fırınında cüruf granüle inba sisteminde kullanılan poliüretan kaplı rolelerin ortalama çalışma ömürleri 15 aya çıkarılarak taşıyıcı role maliyetlerinin düşürülmesi ve sistemin çalışma devamlılığı sağlanarak, cüruf granüle sistemindeki taşıyıcı rolelerden kaynaklı üretim kayıplarının önüne geçilerek üretim sürekliliği sağlanmıştır.

#### KAYNAKLAR

- [1] İSDEMİR A.Ş. 4. Yüksek Fırın Poliüretan Role Projeleri, 2011.
- [2] İSDEMİR A.Ş. 4. Yüksek Fırın Granüle İnba Projeleri, 2011.
- [3] İSDEMİR A.Ş. 4.Yüksek Fırın 2011 – 2015 Dönemleri Verileri.

# Kazan Taban Külü ile Asidik Maden Drenaj (AMD) Sularının Nötralizasyonu - AMD Organik Humat Çamuruyla Tarım Alanlarının İyileştirilmesi

## *AMD Neutralization by Bottom Fly Ash - Remediation of Agricultural Fields by Organic Humate Mud of AMD Treatment*

Y. İ. Tosun

Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak

**ÖZET** Asidik Maden Drenaj suları geçirimsiz havuzlarda toplanarak asidik niteliği nötrleştirme işlemi ile nötr karaktere dönüştürülmesi ve havalandırılması gerekmektedir. Tarım alanlarının iyileştirilmesi için kullanılacak humat ilavesi sağlayan çeşitli yöntemler mevcuttur ve bu AMD nötrleştirme yöntemine göre suyun etkileri giderilerek atık çamur gübre kimyasalları ile toprağın iyileştirilmesine yardımcı olabilmektedir. Şırnak asfaltit açık ve yeraltı ocaklarından açığa çıkan Avgamasya göletindeki AMD' sularını nötrleştirmek için kullanılan kimyasal ve biyolojik yöntemler ile nötrleştirme sağlanmalıdır. Bu işlem ile metal içerikleri minimize edilerek asidik pH 3,5 atık suyu uçucu kül ve yerel kireçtaşları ile nötrleştirilebilmiştir. Bu çalışma kirli asidik suların kimya sanayinde ve tekstil proses tesislerinde atık sulara olduğu gibi tikinerde kimyasal nötralizasyon ve havalandırma işlemlerini içermiştir.

**ABSTRACT** There is a variety of methods that can be used to improve agricultural areas, and according to this AMD neutralization method. In this study, there was a need to improve fertilizer mud as by-product of AMD treatment with use fly ash and soil by eliminating metal effects. The occurred AMD waters in Avgamasya Lake, Şırnak, of asphaltite mines with acidic pH 3.5 can be neutralized by fly ash and local limestones by use chemical and biological methods and minimizing metal contents that are open to environment. This work involved chemical neutralization and ventilation in the thickner as well as in the wastewater in the chemical industry and textile processing plants of dirty acidic waters.

### 1.GİRİŞ

Kömür madenciliği yapılan açık işletmelerde ve yeraltı üretim sahalarında atık olarak çevreye salınan asidik maden suları ve bakır sülfürlü madenlerin üretmi esnasında açığa çıkan atık suların çevreye terketilmesi doğayı kirletmektedir. Bu tip atık sular asidik karakterlidir ve çevre kirliliğine neden olan ağır metalleri de içermektedir. Bu nedenle doğal akarsulara ve tarımsal alanların sulama sularına asidik maden drenaj (AMD) sularının bırakılması, yerel göletlerde habitatların ve canlı balıkların asitle yanmasına neden olabilmektedir.

### 2. ASİDİK MADEN DRENAJ SUYUNUN NÖTRALİZASYONU

Asit maden drenajı, asitli metalik sülfatlı zengin atık suların çevresel açıdan büyük sorun yaratmaktadır. Bu tip atık sular, galvanizleme sızıntısı ve termik santrallerde baca gazlarının yıkanması gibi çeşitli endüstriyel işlemlerin yan ürünleridir (Johnson, 2000). Bu tür atık suların başlıca üreticisi, madencilik endüstrisinde meydana gelmektedir ve tarımsal ve çevresel tehdit oluşturmaktadır. Aktif ve özellikle de terk edilmiş madenleri ve maden atıklarını içeren sular çoğunlukla asidiktir (bazen çok yüksek asidiktir). Bu tür sular genellikle yüksek konsantrasyonda metal (demir, alüminyum ve manganez ve muhtemelen diğer ağır metalleri) ve metaloitleri (ki kadmiyum

arsenik, telürit) içerdiği için çevreye ek bir tehlike oluşturmaktadır. 1997 yılındaki verilere göre 19.300 km akarsu ve nehir ve ve 72.000 hektarlık göl ve rezervuar, AMD atık sularıyla ciddi şekilde kirlenmiştir. Ancak AMD su kirliliğinin neden olduğu çevre kirliliğinin miktarını tespit etmek güçtür. Şırnak ili kömür ocağı sahalarından asidik ocak suları pH 4 civarında olacak şekilde çevreye etki etmektedir ve iyileştirilmesi ve balık üretimi için restorasyonu planlanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Sırnak Kömür Maden Sahasındaki atık asidik su gölet alanı, balıkçılık için AMD iyileştirilmesi

## 2.1 Kireçtaşı Havalandırma ve Oksidasyon

### 2.1.1 Kimyasal Oksidasyon

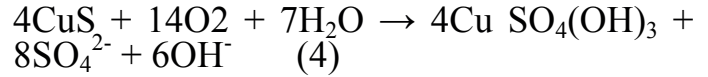
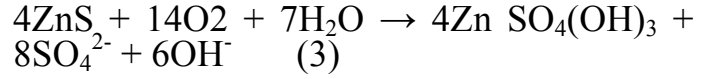
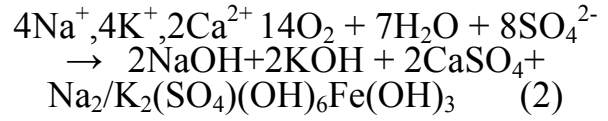
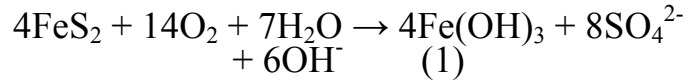
Bakır sülfür ocakları üretimi ve sülfürlü cevherlerin oksitlenmesi sonucu olarak bu mineraller hem oksijene hem de suya maruz bırakıldığında sülfürlü minerallerin oksidasyonu oluşmaktadır. Aynı şekilde, kömür yatakları, değişken (genellikle% 1-20) miktarda Pirit (Markasit gibi diğer demir sülfür minerallerini) de ve organik kükürt içermektedir.

Bu metal sülfürlerin ortak nötralizasyon işlemi, kireç, kostik kireci, ayrıca kükürt gidermede kullanılan santral uçucu külü veya orta külü gibi yerel atıklarla gerçekleştirilebilir. Demir çökmesi (pirit oksidasyonu üzerine demir hidroksitli hale dönüşümü) ve diğer metalik sülfid minerallerinin oksitlenmesi aşağıdaki reaksiyonlarda tanımlanmıştır.

Piritin asidik gölet veya yüzey akımlı sulu çözeltilerde oksidasyonu özetleyen ve sıklıkla kabul gören reaksiyon aşağıdaki şekilde gelişmektedir.(Eşitlik 1,2,3,4)

Pirit oksidasyon sonucu aşağıdaki tepkimeler sonucu ferrik'e oksitlenmekte ve işlem sırasında ayrıca ara ürün olarak açığa çıkan indirgenmiş kükürt bileşiklerinin

oksidasyonu sonucu sülfat bileşikleri oluşmaktadır.



### 2.1.2 Biyo Oksidasyon

Pirit mineralinin kimyasal oksidasyonuna katkıda bulunan bir oksidasyondur. Özellikle pH 4 ve üzerindeki değerlerde, kimyasal olarak veya biyolojik olarak Gallionella ferruginea tip demir oksitleyici bakteriler etkili olmaktadır. Ancak pH 5'in altında değerlerde biyolojik demir oksidasyonu önemsizdir (Stumm ve Morgan, 1981) ve orta derecede ve aşırı derecede Asidofilik demir oksitleyici bakterilerin AMD suyunda etkili olmaktadır (Johnson and Hallberg, 2003). Yeraltında birikinti sular yüzeye pompalanması ile veya terk edilmiş ocakların birikintileri dışarı pompalandığı zaman kirli atık sular yeraltı suyuna karışmıştır (Younger ve diğerleri, 2004; Neal ve ark., 2004). Özellikle birikmiş asitli tuzlar çözündüğünde daha fazla kirlenme eğilimi gözlenmiştir. (Clarke, 1995).

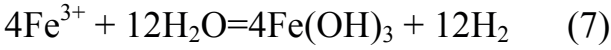
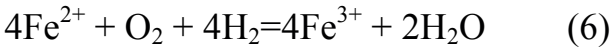
Asidik AMD suları atık barajı yığınları içersinde veya maden atıkları şeklinde de oluşabilir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, bu tip atık barajlarının potansiyel uzun süreli bir kirlilik oluşturmasıdır. Atık barajları devre dışı bırakıldıktan sonra kirlilik yıllarca sürebilir. Genellikle AMD sularının pH'ı 4 üstünde olabilir. Demir ve mangan söz konusu olduğunda, bu metaller genel olarak inanılmaz derecede pH ı düşürmektedir (Fe<sup>2+</sup> ve Mn<sup>2+</sup>) iyonik olarak bulunur ve daha yüksek pH'da tamamen oksitlenmiş (Fe<sup>3+</sup> ve Mn<sup>4+</sup>) iyonlarına kıyasla çok daha kararlı halde sulu ortamlarda bulunmaktadır. Bazı AMD su akıntıları, nötr-alkali pH 8 halde değişim göstermiştir. Tüm metallerin çözünümü örnek olarak demir, alüminyum ve manganezin birlikte konsantrasyonu gözlenmiştir.

### 2.1.3. Nötürleşme

Asidikliği bir alkaliliğe karşı dengelemektir; Esas olarak kireçtaşları yaygın olarak kullanılır ve kimyasal olarak kalsiyum karbonat çözünmesinden kaynaklanan bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) biçiminde nötürleştirir. Biyolojik işlemler de AMD su akımlarında alkalilik oluşturulabilir.

#### Aerobik sulak alanlar

Aerobik sulak alanlar genellikle net alkalın olan suların temizlemek için yapılır. Bunun nedeni, içerisinde meydana gelen iyileştirici tepkime, demirli demirin oksidasyonu ve daha sonra üretilen ferrik demirin hidrolizi net bir asit üretme reaksiyonudur



Reaksiyon sonucu olarak pH'da önemli bir düşüşü önlemek için maden suyunda yetersiz alkalilik varsa, örneğin anoksik kireçtaşı drenaj uygulamasında asidiklik değiştirilebilir (Swanson ve diğerleri, 1997). Oksidasyon şartlarını korumak için aerobik sulu alanlar, yüzey su akışı ile çalışan nispeten sığ sistemlerdir. Makrofitler, su akışını düzenlemek için (örneğin kanal oluşturmayı önlemek için) estetik nedenlerle ekilirler ve biriken ferrik çökeltileri (kurur) filtrelemek ve stabilize etmek için dikilirler. Ayrıca, katı faz ferrik demir bileşikleri ve minerallerin çökeltilmesi için ek yüzey alanını da sağlarlar.

Çoğu aerobik sulak alan, nötr pH'de çalışılmaktadır. Bu pH6 civarında demirin kimyasal oksidasyonu biyolojik etkiye göre daha hızlı ilerlediği görülmüştür. Bununla birlikte, nütrofilik demir oksitleyici bakterilerin varlığı, aerobik ve anaerobik sularda (*Gallionella ferruginea*) ve organik olarak kompleks demir (*Leptothrix* gibi) demir oksidasyonuna katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca Arsenik tehlikesi özellikle asidik atık sularda anyonik  $\text{As}^{5+}$  ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ) arsenat olarak görülmektedir ve bu arsenik, çoğunlukla, pozitif yüklü demirli kolloidlere adsorpsiyon ile skoroditin ( $\text{FeAsO}_4$ ) oluşumu ile uzaklaştırılabilmiştir.

Bu bakteri muhtemelen bu suların arseniklerinin uzaklaştırılmasına katkıda bulunmuştur ve sabit yataklı biyoreaktör sistemlerinde, demirin oksidasyonu ve çökeltmesi sağlanmıştır. Ferrik Fe (pH

2.5'in üstünde çözünmeyen) aerobik sulak alanlarda ve biyoreaktörlerde biyolojik oksidasyonu gerçekleştirmiştir.

#### Pasif biyolojik sistemler:

Anaerobik sulak alanlar ve kompost biyoreaktörlerdeki işlemlerdir. Aerobik sulak alanların aksine, AMD'nin kirletici etkisini gidermek için kullanılan kompost biyoreaktörlerde meydana gelen reaksiyon anaerobiktir. Tamamen zemin seviyesinin altında bulunur. Bitki kaynaklı bitki kökleri, oksijen içeriğinin anaerobik bölgelere girmesine neden olabilir; bu da, indirgeyici süreçler açısından zararlıdır. Katalize edilmiş reaksiyonlar ile net alkalilik ve biyojenik sülfür üretilmiştir. AMD aerobik sulak alanların aksine indirgeyici ortam reaksiyonları ile çamur veya kompostun kendi organik matrisinde oluşmaktadır. Suyun katı faz ürünleri ıslak toprak çökeltileri içinde kompost ta kalır. Daha büyük arıtma sahasına ihtiyaç duyulur ve uzun vadeli bir işlemdir (Johnson and Hallberg, 2002)

### 2.2. Oksidasyon Kinetiği

Dahası, hava kısımlarından kök sistemlerine oksijen akışı göndererek, bazı su bitkileri demirli demir oksidasyon hızını artırabilir. Aerobik sulak alanlarda demir oksidasyonun, en azından kısmen, mikroorganizmalar tarafından abiyotik veya yoğunlaştırılıp azaltılmadığı düşünülmektedir. Eşitlik 8 deki reaksiyon Stumm and Morgan (1981) tarafından öne sürülen, sulu ortamlarda demirli oksit oksidasyon oranını tanımlayan eşitlik ve hem oksijen konsantrasyonun hem de pH değerinin demir oksitlenme hızına etkisi belirlemiştir. Oksitlenme kinetiği aktivasyon enerjisine ve sıcaklığa bağlı gelişmiştir ve önemli parametreler aşağıdaki eşitlikte gibi etki etmektedir.

$$\frac{d\text{Fe}}{dt} = k^{1/4} \left( \frac{\text{O}_2 \cdot (\text{OH})^-}{\text{Fe}^{2+}} \right)^{1/2} \quad (8)$$

Ancak Stumm ve Morgan tarafından belirtildiği gibi (1981) düşük pH değerlerinde, demir oksidasyon hızı, pH'a bağlı olarak değişmiştir.

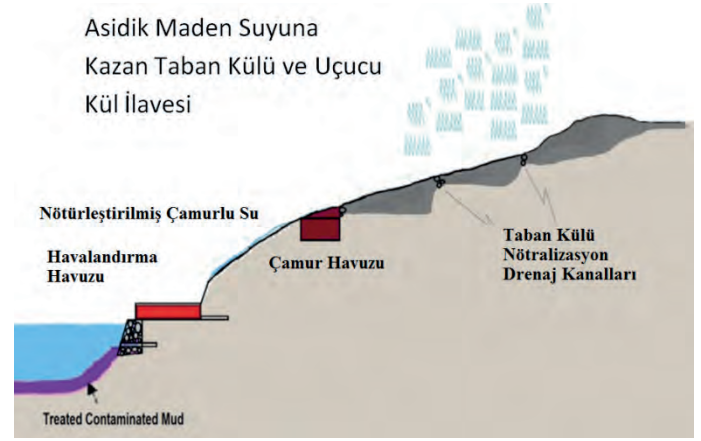
### 2.3. Organik Çamur

AMD üretimini en aza indirmek için önerilen diğer bir yaklaşım, asit üreten ve asidik tüketim malzemeleri karıştırarak çevreye zararlı kompostlar üretmektir (Mehling ve diğerleri, 1997). Bu konunun

ayrı bir reaksiyonu olarak demir (III) 'ü ferrik fosfat olarak çöktürülmesi için atık suya fosfatlar (apatit gibi) eklemiştir. Eklenen fosfat minerallerinin nütürleşme sürecinden sonra) gübre kompost üretilmiştir (Evangelou, 1998 Evangelou, 1998). Hidrojen peroksit ilavesi de, ferritik fosfatın oluşumunu ve fosfat ile reaksiyonu hızlandırmıştır (Evangelou, 1998). Ayrıca, litotrofik (yörel demir ve kükürt oksitleyici) bakterilerin, biyositler içinde suyun arıtılmasında daha geniş yaygın bir kullanımı olabilmektedir.

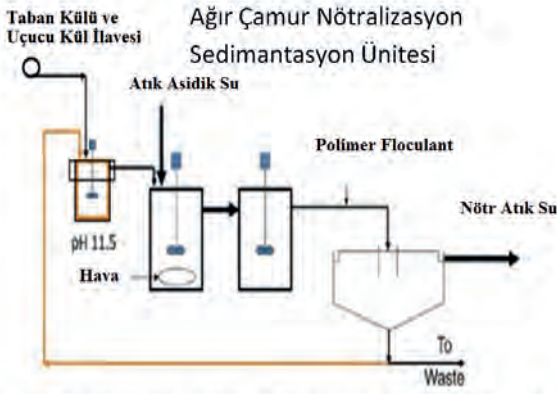
### 3. PROJE ETÜDÜ

Kömür sahasında atık kömür tozu içeriği asidik suların etkisin de göletlerde fümik asit ve hümik asit içeren ve tarım alanlarının iyileştirilmesinde kullanılan humat içerikli sıvı organik gübre maddeleri oluşturmuştur. Arıtma havuzlarının (Şekil 2) ve arıtma tesisinde (Şekil 3) pHı 3,5 ten nötr pH yükseltilmesi için yerel uçucu kül ve kireçtaşları hem toz -10mm boyutunda hem de kum boyutunda değerlendirilmiştir. Yaklaşık olarak 20-30-40-60-90 kg/tonluk kireçtaşı ve uçucu kül ilavesi 1/1 ağırlık oranında karıştırılarak havuzlarda tutulmuştur. pH 6,5 a çıkarılmıştır. Alkali miktarına bağlı olarak nütürleşme süresi takip edilmiştir. Test sonuçlarına göre 100dk lık bir sürede 10kg/tonluk kireç ilavesi ile nütürleşme sağlanmıştır.(Şekil 4) Şırnak santral uçucu külü ile 200dk da 20kg/ton oranındaki ilavede benzer nütürleşme sağlanmıştır (Şekil 5). Katı sıvı ayrımı için alınan bulamaçlar günlük sedimantasyona 1m yüksekliğindeki kolonlarda tutulmuştur. Ayrıca havuzların kompresör ile havalandırması yapılarak su sirkulasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Taban çamuru üst toprak iyileştirme işlemi için toplanmış ve analiz edilmiştir. Toprağın tuzluluğu özellikle buğday yetiştiriciliğinde ve balık üretiminde önemli olduğu için aşağıdaki analiz verileri belirlenmiştir.



Şekil 2. Asidik Maden Drenaj Suyunun Şırnak Kömür Ocağı için Uçucu kül ile Arıtım Kesit Su Akışı

Ayrıca CO<sub>2</sub> verilen sularda çamur niteliği de belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan nütürleşme yöntemlerinin karşılaştırılması, uçucu kül kullanımı ve kireçtaşı ile gelişmiş nütürleşme ve topraktaki karbon maddesi içeriği tartışılmıştır. Tipik olarak, asit madeni suyu ile atık çamur suyunda yüksek miktarda CO<sub>2</sub> bulunmuştur. CO<sub>2</sub>, elbette, tek başına oldukça zararsızdır. Bununla birlikte, atık gölet çamurunda kalmasına izin verilirse, suyun daha ileri akış yönünde arıtılması için gerekli kimyasalların çoğu geri kazanılabilmektedir. Atık sudaki CO<sub>2</sub>'ti en aza indirmenin en iyi yolu, havalandırma veya dekarbonasyon tankı ile en iyi şekilde havalandırma veya ajitasyon yoluyla sağlanmıştır. Havalandırılmış suyun altındaki bayat suyu çalkalandırır. Hava boşaltma / dekarbonatlama tankının tasarımı sadece gelen CO<sub>2</sub> yüküne göre boyutlandırılmıştır. Nispeten yüksek miktarda CO<sub>2</sub> (100 mg / L'nin üzerinde) olmuş ve 30 - 40 dakika lık bir sürede işlem tamamlanmıştır. Bu süre zarfında, yavaş hızdaki yüzey havalandırıcı, suyu çalkalayarak oksijenin veya azotun CO<sub>2</sub> tin yerine geçmesine neden olur ve bu noktada CO<sub>2</sub>'in basitçe atılması sağlanmıştır.



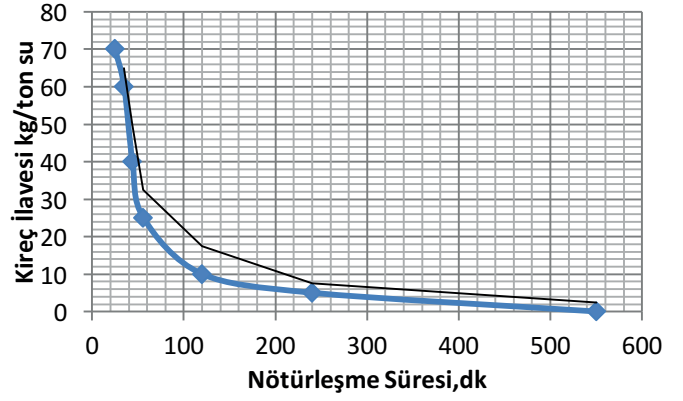
Asidik Maden Suyuna Kazan Taban Külü ve Uçucu Kül İlavesi

Şekil 3. Ağır Çamur Nötralizasyon Sistemi-Şırnak Kömür Ocağı için Uçucu kül ile Arıtımı

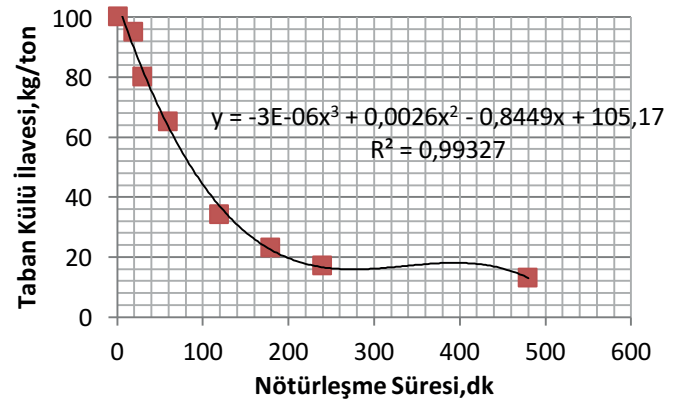
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tasarımda tikner nötralizasyonu ağır çamur sedimentasyonu (HDS) sürecine bağlıdır. Klasik sedimentasyon sistemlerine göre görülen nötrleşme süreci kısaltılarak pH'in 6 ya yükseltilmesi jelleşmeyi önler. Deneyimler, HDS sürecinin düzgün bir şekilde kullanılmasının %30-40 su/katı oranında taban çamuru oluşumu düşük konsantrasyon oluşturduğu gözlenmiştir. Böylelikle tesis tikner tanklarında % 20-25'lik bir zaman dan tasarruf edilmiştir. Aşağıdaki tesiste uçucu kül çamur tankının pH'inin 11.5 olduğu belirlenmiştir(Şekil 6).

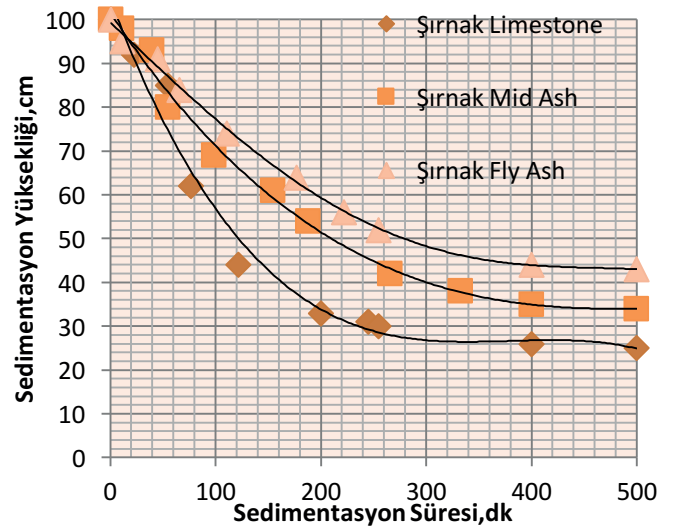
Asıl amaç mineraller ve çözünmüş oksijen arasındaki temastan kaçınmaktır. Sığ su örtüleri kullanılabilir ve bu rüzgar ve dalgaların etkisinden dolayı atıkların tekrar süspansiyon edilmesine karşı bir miktar koruma sağlayan oksijen girişini sınırlayan ikili fayda sağlayan çökelti veya membran zemin tablası oluşturmak reaktif metal oksitlerin yüzeyde depolanması ve organik bir tabaka da tutulması ile mümkündür (Şekil 7). Bozulmayı örten membran-kil tabakası, genellikle çatlamış zemin oluşumuna rağmen AMD sularının sızmasını etkisiz hale getirmiştir tane boyutsal sınıflandırmada Eriez sınıflandırıcı ile hem havalandırma hem de çamur giderimini sağlamıştır(Şekil 8).



Şekil 4. Asidik Maden Drenaj Suyunun Şırnak Kömür Ocağı için kostik kireç ile iyileştirilmesi pH ;6



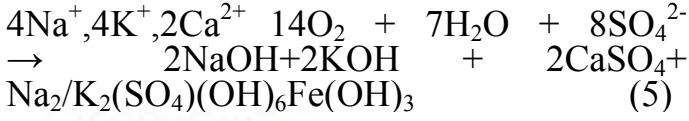
Şekil 5. Asidik Maden Drenaj Suyunun Şırnak Kömür Ocağı için Uçucu kül ile iyileştirilmesi



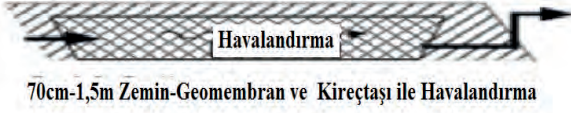
Şekil 6. Asidik Maden Drenaj Suyunun Şırnak Kömür Ocağı için Uçucu kül ile iyileştirilmesi

Sonuç olarak artan pH artışı ile AMD üzerindeki iyileştirici etkiyi görürsek,

sülfatın indirgenmesi, toksik metallerin AMD'den uzaklaştırılmasında önemli bir mekanizma haline gelir; Jarosit, Bakır ve kadmiyum gibi metallerin çözünmeyen sülfatları çökeltmekle giderilir (Eşitlik 5),



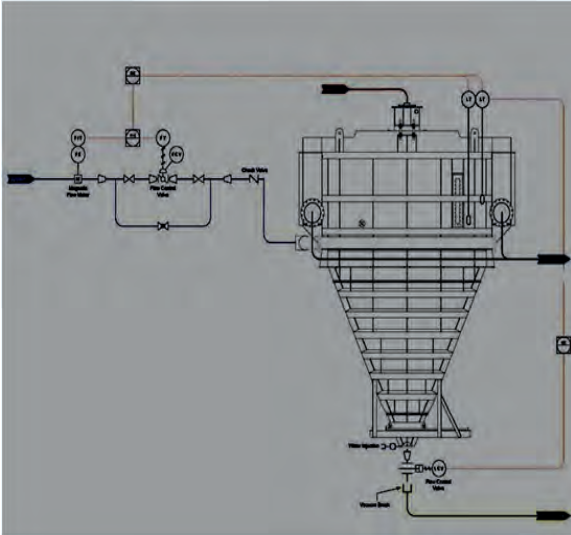
#### ANOKSİ KİREÇ DRENAJ



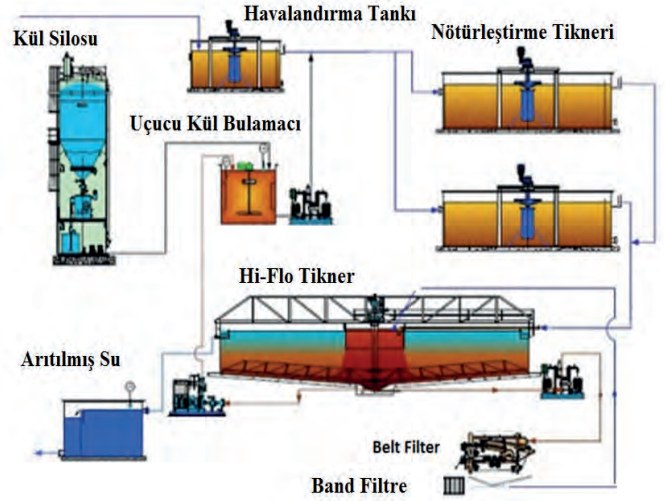
#### ALKALİ NÖTÜRLEŞTİRME / DİKEY AKIŞLI ARITMA



Şekil. 7 AMD için arazide aerobik kireçtaşı uçucu kül ihtiva eden sulak alanlar ve kompost biyo-reaktörler



Şekil 8. Eriez sınıflandırıcı ile Sarnak Kömür Ocağı Atık Suyu nötürleştirme



Şekil 9. Asidik Maden Drenaj Suyunun Şırnak Kömür Ocağı için Uçucu kül ile İyileştirilmesi Tasarı Tesis Akım Şeması

## 5. SONUÇLAR

Geleneksel olarak, büyük deşarj düzeyli maden suları, özellikle suyun asidik olduğu zaman, aktif kimyasal işleme tabi tutulabilmiştir. Gerekli arazi yüzölçümü ve topografik sorunlar, bazı durumlarda pasif biyolojik sistemleri mümkün kılmamıştır. Ancak, artan kazan taban külü atığı ve AMD çamurunun tarımsal alanlarda değerlendirilebilmesi bu yöntemi ilginç kılmaktadır.

Havalandırılmalı ve uzun süreli biyolojik prosesler özellikle balık yetiştiriciliği için önerilmiştir. Üretim esnasında daha küçük ölçekli kültür gölet kullanılabilir hale getirilebilir. Pasif sistemler belirli bir miktarda yönetim gerektirir ve biriken sarı sular (aerobik sulak alanlar) ve sülfidler (kompost biyoreaktörler) kontrollü havuzlarda zehirli elementleri (arsenik, kadmiyum, vb.) içerebileceğinden, depolanması veya atımı mutlaka sağlanmalıdır.

AMD atık suların değerlendirilmesi ülke yararına büyük yararlar sağlayabileceği gibi humat çamur üretimi ile de tarıma katkı sağlayabilecektir.

AMD su kaynağının önlenmesi için genel olarak tercih edilen biyoaktif havuzlarda çöktürmek ve AMD oluşumunu engellemek için çamur çöktürülmelidir. Şırnak ili kömür ocakları atık su göleti için atık su kontrolü sağlayan Şekil 9 daki gibi bir tesis gereklidir.

AMD suları, kömür madenciliği sırasında Şırnak'taki açık ocaklarda açığa çıkıp yeraltı sularına karışması engellenmelidir. Ayrıca

Siirt'teki bakır bakır madenciliği ve konsantratörü AMD atık suları atık barajında tutularak doğayı kirletmesi engellenmelidir. Bu atık sular asidiktir ve sırasıyla 230 mg / lt, 122 mg / lt ve 57 mg / lt ferrik demir, çinko ve bakır metalleri gibi çevresel kirliliğe neden olan metaller bulunmaktadır. Bu nedenle, doğal nehirlerin ve tarım alanlarının sulama sularına asitli maden drenajı (AMD) sularının salınması, yerel akarsularda ve yerel göllerde habitatlara ve balıklara büyük tehlike oluşturabilir. AMD suları, geçirimsiz havuzlarda toplanması ve nötr karaktere nötralizasyon edilmesi ve havalandırması gerekir.

Yerel kireç taşları ve Uçucu kül ve taban küleri kullanılarak nötralizasyon yöntemi, biyolojik etkinliklere dayanan ve yararlı potasyum ve fosfat gübreleme çamurunu üretimini sağlar.

Bu önemli muamelelerde, Şırnak kireçtaşı uçucu külü ve taban külü ile eşit ağırlık oranlarda 60 kg/lt AMD suyu ile aktif ya da pasif nötralizasyon başarılı bulunmuştur. Şırnak kömür madenciliği ve Siirt bakır madenciliği alanındaki bu seçim, ekonomik ve çevresel aşamalarda nötralizasyonu takiben, AMD sularını iyileştirebilir. Bu iyileştirme sisteminin gerçek çevre maliyeti belirgin bir çalışmada düşük bulunmuştur. Bununla birlikte, maden endüstrilerinde, toprağa atık kireçtaşı ilavesi ve çamur bertarafı ve maliyeti yüksek olması nedeniyle AMD nötralizasyonunda değerlendirilmesi giderek önem kazanmaktadır. Pasif sistemleri için gerekli arazi alanları, biyolojik işlemleri en uygun hale getiren küçük toplama havuzlarından oluşmalıdır. Kömür veya Bakır maden sahasındaki asitli küçük göletler demirleri uzaklaştırmak için aerobik sulak alanlardan çok daha etkili ve ekonomik olabilmektedir. Bu tür bazı havuzlarda kompost atıklar zehirli elementler içerebilir (arsenik, sırasıyla 10 mg / lt ve 56 mg / lt gibi kadmiyum), depolanması veya bertaraf edilmesi için dikkat edilmesi gerekir.

Atık çamur demir oksit çamuru olarak fosfat gübre olarak kullanılabilir. Cu ve Zn metalleri de elektroliz ile atık temiz elektrolitlerden geri kazanılabilir. Siirt bakır konsantratöründeki kayıp metal geri kazanımı açığa çıkan AMD'nin kontrolü ile yatırım ve işletme maliyetlerinde bir miktar ek mali getiri sağlanabilir.

Gölet atıklarının öngörülen yoğunlaştırıcı nötralizasyonu, çamur ve çökeltilerdeki ana metallerin depolama problemlerinden kaçınılması Şırnak ve Siirt gibi doğal çevrenin ve zirai alanların korunmasında gittikçe yararlı olabilir. Atık kireçtaşları uçucu kül ve taban küleri kullanılarak kömür ve bakır madenciliği faaliyetlerinde AMD sularının kontrolünde çeşitli yararlar sağlamıştır.

## KAYNAKLAR

- Anonim a, 2016, *Tekfen İnşaat Şirket* web sayfası, <http://www.tekfeninsaat.com.tr>
- Anonim b, 2016, *Gayret Makina Şirket* web sayfası, <http://www.gayretmakina.com.tr>
- Anonim c, 2016, *Multotec Şirket* web sayfası, <http://www.multotec.com/category/industry/coal>
- Anonim d, 2016, *MBE Şirket* web sayfası, <http://www.mbe-cmt.com/en/products/pneufлот%C2%AE/pneufлот%C2%AE>
- Anonim e, 2016, *SCHAUENBURG Şirket* web sayfası, [http://www.schauenburg-aka.com/index\\_e.html](http://www.schauenburg-aka.com/index_e.html)
- Anonim f, 2016, *CWP Şirket* web sayfası, <http://cwp.com.tr/en/products.aspx?id=30>
- Aube BC, Payant S. The Geco process: a new high density sludge treatment for acid mine drainage. *Proceedings of the Fourth*
- Battaglia-Brunet F, Dictor MC, Garrido F, Crouzet C, Morin D, Dekeyser K, et al. An arsenic(III)-oxidizing bacterial population: selection, characterization, and performance in reactors. *J Appl Microbiol* 2002;93:656–67.
- Benner SG, Blowes DW, Ptacek CJ. A full-scale porous reactive wall for prevention of acid mine drainage. *Ground Water Monit Remediat* 1997;17:99–107.
- Boonstra J, van Lier R, Janssen G, Dijkman H, Buisman CJN. Biological treatment of acid mine drainage. In: Amils R, Ballester A, editors. *Biohydrometallurgy and the Environment Toward the Mining of the 21st Century*, vol. 9B. Elsevier: Amsterdam; 1999. p. 559–67.
- Clarke LB. *Coal Mining and Water Quality*. London: IEA Coal Research; 1995. 99 pp.



- Coulton R, Bullen C, Dolan J, Hallet C, Wright J, Marsden C. Wheal Jane mine water active treatment plant-design, construction and operation. *Land Contam Reclam* 2003;11:245–52.
- Coulton R, Bullen C, Hallet C. The design and optimization of active mine water treatment plants. *Land Contam Reclam* 2003;11:273–9.
- Coupland K, Battaglia-Brunet F, Hallberg KB, Dictor MC, Garrido F, Johnson DB. Oxidation of iron, sulfur and arsenic in mine waters and mine wastes: an important role for novel *Thiomonas* spp. In: *Biohydrometallurgy: a sustainable technology in evolution: Proceedings on the 15th International Biohydrometallurgy Symposium, 2003*.
- Evangelou VP. Pyrite chemistry: the key for abatement of acid mine drainage. In: Geller A, Klapper H, Salomons W, editors. *Acidic Mining Lakes: Acid Mine Drainage, Limnology and Reclamation*. Berlin7 Springer; 1998. p. 197–222.
- Evangelou VP. *Pyrite Oxidation and its Control*. New York, CRC Press; 1995. 275 pp.
- Hallberg KB, Johnson DB. Biodiversity of acidophilic microorganisms. *Adv Appl Microbiol* 2001;49:37–84.
- Hedin RS. Recovery of marketable iron oxide from mine drainage in the USA. *Land Contam Reclam* 2003;11:93–7.
- International Conference on Acid Rock Drainage, May 30–June 6, 1997, Vancouver, BC, vol. I, p. 165–80.
- Johnson DB, Hallberg KB. Pitfalls of passive mine water treatment. *Reviews Environ Sci Bio/Technol* 2002;1:335–43.
- Johnson DB, Hallberg KB. The microbiology of acidic mine waters. *Res Microbiol* 2003;154:466–73.
- Johnson DB. Biological removal of sulfurous compounds from inorganic wastewaters. In: Lens P, Hulshoff Pol L, editors. *Environmental Technologies to Treat Sulfur Pollution: Principles and Engineering*. London International Association on Water Quality; 2000. p. 175–206.
- Johnson DB. Chemical and microbiological characteristics of mineral spoils and drainage waters at abandoned coal and metal mines. *Water Air Soil Pollut: Focus* 2003;3:47–66.
- Kalin M, Cairns J, McCready R. Ecological engineering methods for acid-mine drainage treatment of coal wastes. *Resour Conserv Recycl* 1991;5:265–75.
- Kalin M, Chaves WLC. Acid reduction using microbiology (ARUM) treating AMD effluent emerging from an abandoned mine portal. In: Ciminelli VST, Garcia Jr O, editors. *Biohydrometallurgy: Fundamentals, Technology and Sustainable Development*, vol. 11B. Amsterdam, Elsevier; 2001. p. 289–96.
- Kepler DA, McCleary EC. Successive alkalinity producing systems (SAPS) for the treatment of acidic mine drainage. *Proceedings of the International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and the 3rd International Conference on the Abatement of Acidic Drainage*, April, 1994, Pittsburgh, PA, vol. 1, p. 195–204.
- Kleinmann RLP, Hedin RS, Nairn RW. Treatment of mine drainage by anoxic limestone drains and constructed wetlands. In: Geller A, Klapper H, Salomons W, editors. *Acidic Mining Lakes: Acid Mine Drainage, Limnology and Reclamation*. Berlin7 Springer; 1998. p. 303–19.
- Li MG, Aube BC, St-Arnaud LC. Considerations in the use of shallow water covers for decommissioning reactive tailings.
- Long ZE, Huang YH, Cai ZL, Cong W, Fan OY. Biooxidation of ferrous iron by immobilized *Acidithiobacillus ferrooxidans* in poly(vinyl alcohol) cryogel carriers. *Biotechnol Lett* 2003;25:
- Loos MA, Bosch C, Mare' J, Immelman E, Sanderson RD. Evaluation of sodium lauryl sulfate, sodium benzoate and sorbic acid as inhibitors of acidification of South African coal waste. *Groundwater and Mining: Proceedings of the 5th Biennial Symposium of the Groundwater Division of the Geological Survey of South Africa Randberg, Transvaal*. Pretoria7 Geological Society of South Africa; 1989. p. 193–200.

Mehling PE, Day SJ, Sexsmith KS. Blending and layering waste rock to delay, mitigate or prevent acid generation: a case review study. Proceedings of the Fourth International Conference on Acid Rock Drainage, May 30–June 6, 1997, Vancouver, BC, vol. II, p. 953–70.

Neal C, Whitehead PG, Jeffery H, Neal M. The water quality of the River Carnon, west Cornwall, November 1992 to March 1994:p. 115– 30. Proceedings of the Fourth International Conference on Acid Rock Drainage, May 30–June 6, 1997, Vancouver, BC, vol. I,

# Aydıncık/Mersin Dolomitlerinden Nano Boyut Dağılımına Sahip Sentetik Periklas (MgO) Taneciklerinin Üretimi

## *Production of Synthetic Nano Periclase (MgO) Particles from Aydincik/Mersin Dolomites*

M. Altiner, M. Yıldırım

*Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana*

**ÖZET** Endüstriyel alanda oldukça fazla kullanım alanı olan sentetik periklas (MgO) üretimi için en önemli hammadde kaynaklarından birisi dolomit cevheridir. Bu çalışmada, özütleme-karbonatlaştırma-pirohidroliz yöntemleri kullanılarak Aydıncık/Mersin dolomitlerinden nano boyut dağılımına sahip periklas (MgO) taneciklerinin üretilmesi amaçlanmıştır. Her aşamada elde edilen ürünlerin özellikleri XRF, SEM, XRD, yaş kimyasal analiz ve tane boyut dağılımı analizi yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Üretim prosesinin ilk aşaması olan özütleme işlemi sırasında açığa çıkan CO<sub>2</sub> gazı atmosfere verilmeyerek laboratuvar ölçekli gazometre tankında bir sonraki aşamada kullanılmak üzere depolanmıştır. İkinci aşamada ise, çözeltinin içerdiği Ca<sup>2+</sup> ekonomik bir değer olacak şekilde iğnemi uçlu yapıya sahip sentetik aragonit tanecikleri yan ürün olarak çöktürülmüştür. Son aşamada ise, magnezyum yönünden zengin çözeltiden 180,05 – 280,50 nm tane boyut dağılımına sahip, kübik kristal yapıya sahip sentetik periklas (MgO) üretimi gerçekleştirilmiştir.

**ABSTRACT** Dolomite is one of the most important resources for producing synthetic periclase (MgO) that is highly demanded in various industrial area. In this paper, it was aimed to produce nano MgO particles from Aydincik/Mersin dolomite ore through leaching-carbonation-pyrohydrolysis processes. The properties of each product obtained were characterized by XRF, SEM, XRD, wet chemical and particle size distribution analyses. In the first stage, CO<sub>2</sub> released from dolomite was stored in a lab scale gasometer tank for the use in the following carbonation process. Thereafter, Ca<sup>2+</sup> were precipitated from the leachate solution in the form of needle-like aragonite crystals as a by-product. In the last stage, synthetic periclase (MgO) particles in nano sizes (180.05 – 280.50 nm) was produced from the magnesium-rich solution.

## 1 GİRİŞ

Nano boyut dağılımına sahip MgO tanecikleri; düşük özgül ağırlık ve yüksek ergime sıcaklığına sahip olması, yüksek sıcaklıkta karar olması, kimyasallara karşı direnç göstermesi, toksik özellik göstermemesi, korozyona karşı dayanıklı olması gibi özellikler nedeniyle endüstriyel alanda birçok kullanım alanına sahiptir. (Ilyina ve ark., 2009; Selvam ve ark., 2011; Sasaki ve ark., 2006; Fedorov ve ark., 2007; Meshkani and Rezaei, 2009; Hadia ve Mohamed, 2015; Kumari ve ark., 2009; Lee ve ark., 2002; Manin ve ark., 2005).

Bu kullanım alanlarından bazıları sırasıyla; refrakter tuğla üretimi, boya, süper iletken ürünler, otomotiv uygulamaları, havacılık, biyotıp, ince film üretimi için substrat eldesi, inceltirilmiş katalizör, alev geciktirici malzeme ve çimento hammaddesidir.

Nano boyut dağılımına sahip MgO taneciklerinin üretimi ile ilgili yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde, magnezyum kaynağı olarak genellikle analitik saflığa magnezyum bileşik tuzların tercih edildiği görülmektedir. Magnezyum bileşimli tuzlar ise sırasıyla; magnezyum hegzanitrat ( $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ), magnezyum nitrat magnesium nitrate ( $Mg(NO_3)_2$ ), magnezyum klorür ( $MgCl_2$ ), magnezyum asetat ( $Mg(CH_3COO)_2$ ) vb.'dir.

Alvarado ve ark. (2000) ile Al-Zahrani ve Majeed (2003) yaptıkları çalışmada deniz suyu kullanarak MgO tanecikleri üretmeyi başarmışlardır. Ancak bu yöntem çok fazla enerji gereksinimi olan ve birçok aşamadan oluşan ( $Mg(OH)_2$  çöktürmesi, susuzlandırma, kurutma ve kalsinasyon) bir yöntemdir. Üretim prosesi sırasında  $Mg(OH)_2$  üretimi için kalsine CaO'ye ihtiyaç vardır. Deniz suyunun içerdiği safsızlıklara bağlı olarak üretilen MgO'nun saflığa düşmektedir (Al-Zahrani ve Majeed, 2013; Alvarado ve ark., 2000). Örneğin: MgO taneciklerinin içerdiği bor iyonu, refrakter tuğla ve seramik endüstrisinde kullanılmak üzere sıcaklığa bağlı olarak kırılabilirliğe yol açmaktadır (Yildirim and Akarsu, 2010).

Bu nedenle, iyon değişimi ve solvent ekstraksiyonu gibi yöntemler kullanılarak bir sonraki aşamada MgO'nun kullanımı sırasında olumsuzluk yaratabilecek safsızlıklar uzaklaştırılmalıdır. (Kipouros and Sadoway, 2001).

Bazı araştırmacılar ise, dolomit cevherinin MgO üretimi için önemli bir alternatif

olabileceğini yaptıkları çalışmada ortaya koymuşlardır (Abdel-Aal, 1995; Mantilaka ve ark., 2014; Mustafa ve ark., 2014; Yıldırım and Akarsu, 2010)

Dolomit cevheri, MgO içeriği bakımından ele alındığında endüstriyel alanda MgO üretimi için kullanılan manyezit ( $MgCO_3$ ) cevheri kadar değerli bir hammadde kaynağıdır. (Çizelge 1).

Çizelge 1. Türkiye'deki dolomit ve manyezit rezervleri (DPT, 2012)

Maden Cinsi	Rezerv (Görünür+Muhtemel), ton	Açıklamalar
Dolomit	15.887.160.000	%15 MgO ve üzeri
Manyezit	111.368.020	%41 – 48 MgO içeriği

Bu çalışmada, dolomit cevherinden özütleme – karbonizasyon – pirohidroliz yöntemleri uygulanarak nano boyut dağılımına sahip MgO üretimi gerçekleştirilmiştir. Uygulanan bu yöntem ile özgül ağırlığı ve morfolojik özellikleri nedeniyle kağıt, plastik ve sağlık endüstrilerinde dolgu maddesi olarak kalsite göre daha çok tercih edilen aragonit kristallerinden oluşan kalsiyum karbonat ( $CaCO_3$ ) ve yüksek saflığa sahip karbondioksit ( $CO_2$ ) gazı yan ürün olarak elde edilmiştir.

## 2 MATERYAL VE METOD

Çalışma sırasında kullanılan dolomit cevheri Mersin iline bağlı Aydıncık ilçesinin Soğuksu mevkiinden alınmıştır.

Dolomit cevherinin içerdiği MgO ve CaO miktarı sırasıyla %22,84 ve %32,37 olarak belirlenmiştir. Dolomit cevherinden MgO üretimi üç (3) ana işlemde oluşmaktadır.

Bu aşamalar:

- 1) Dolomit numunesinin çözeltiye alınması ve  $CO_2$ 'in depolanması
- 2) Çözeltinin içerdiği kalsiyum iyonlarının aragonite kristallerinden oluşan  $CaCO_3$  olarak uzaklaştırılması
- 3)  $MgCl_2$  çözeltisinden MgO elde edilmesi ve HCl'in geri kazanımı'dır.

Görüldüğü gibi dolomit cevherinden MgO üretimi için yapılması gereken ilk işlem dolomit cevherinin HCl asit ile çözeltiye alınmasıdır. Daha önce tarafımızdan yapılan bir başka çalışmada en uygun deneysel şartlar belirlenmiştir (Altiner ve ark., 2016). Deneysel şartlar sırasıyla; numune miktarı 25 g (0,14 mol), tane boyutu -2,80 mm, karıştırma hızı 150 dev/dk, asit/dolomit oranı 4,50 ve reaksiyon süresi 16 dk'dır. Ayrıca özütleme işlemi sırasında açığa çıkan ve saflığı %99,90 olarak belirlenen CO<sub>2</sub>, atmosfere verilmeyerek laboratuvar ölçekli 0,25 m<sup>3</sup> depolama hacmine sahip gazometre tankı depolanmış ve bir sonraki olan karbonizasyon işlemi sırasında kullanılmıştır.

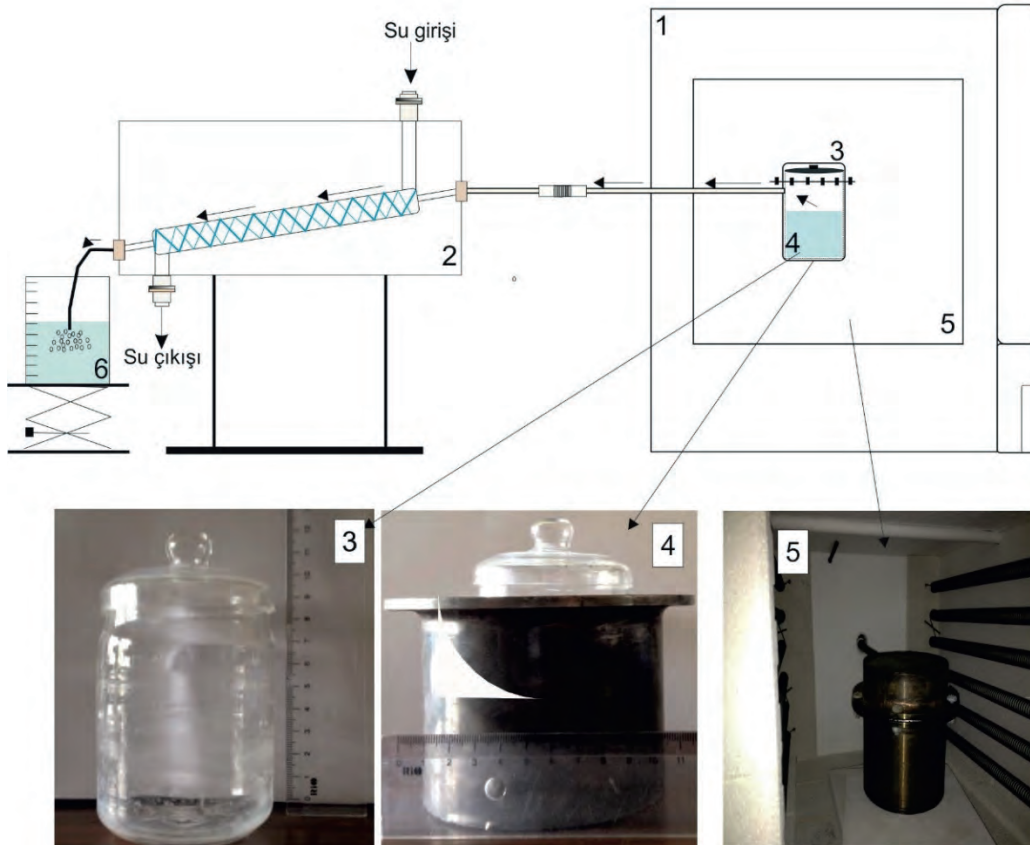
Çözeltinin içerdiği Ca<sup>2+</sup> iyonlarının aragonit kristallerinden oluşan CaCO<sub>3</sub> formunda uzaklaştırılabilmesi için uygulanan şartlar sırasıyla; reaksiyon sıcaklığı 40 – 70 °C ve Ca<sup>2+</sup> konsantrasyonu 0,28 M, karıştırma hızı 750 dev/dk, CO<sub>2</sub> besleme hızı 3 L/dk ve Mg(OH)<sub>2</sub> miktarı 0,45 moldür (Altiner ve Yıldırım, 2016).

Ca<sup>2+</sup> ve Mg<sup>2+</sup> yönünden zengin dolomit çözeltisinden Ca<sup>2+</sup> iyonları ÇKK olarak uzaklaştırıldıktan sonra geriye kalan sulu çözelti ağırlıklı olarak MgCl<sub>2</sub> çözeltisidir. MgO tanecikleri Eşitlik 1'de verilen temsili kimyasal reaksiyonda gösterildiği gibi MgCl<sub>2</sub> çözeltisinin farklı sıcaklık ve sürelerde pirohidrolizi ile üretilmiştir.



Deneylerde Şekil 1'de görülen deney düzenek kullanılmıştır. Cihaz kapalı sistem çalışmakta olup, kullanılan tüm ekipmanlar yüksek sıcaklığa dayanıklı kuvars cam ve aside dayanıklı paslanmaz çelikten yapılmıştır.

Her bir deneyde kuvarstan imal edilen camın hacmi (200 mL) kadar çözelti kullanılmıştır. Deney sırasında 4 nolu kuvars cam içine konulan MgCl<sub>2</sub> çözeltisinin içerdiği H<sub>2</sub>O ve Cl<sup>-</sup> iyonları pirohidroliz sıcaklığının etkisi ile buharlaşarak ve bozunarak ortamı terk etmiştir.



Şekil 1. Pirohidroliz cihazı 1) kül fırını, 2) soğutma ünitesi, 3) paslanmaz çelikten yapılmış koruma ceketi, 4) kuvarstan yapılmış cam beher, 5) kül fırınının iç görünüşü, 6) Açığa çıkan klor gazının geri kazanıldığı cam beher

Yoğuşturucudan geçen klor+su buharından elde edilen HCl, içinde 500 mL saf su olan 6 no'lu beherde birikmiştir. Daha sonra, mantolu ısıtıcı yardımıyla çözeltinin hacmi 100 mL oluncaya kadar buharlaştırılmış ve böylelikle istenilen konsantrasyona sahip HCl elde edilmiştir.

Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen pirohidroliz deneyleri sonunda elde edilen ürünün cihazdan alınması için fırının sıcaklığının oda sıcaklığına düşmesi beklenmiştir. Böylelikle kuvars malzemedan yapılmış olan cam beherin ani hava değişimiyle kırılması önlenmiştir.

Pirohidroliz süresinin etkisinin belirlenebilmesi için sıcaklık 850 °C'de sabit tutularak 180, 210, 240 ve 270 dk'lık sürelerde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Daha sonraki aşamada, pirohidroliz sıcaklığının MgCl<sub>2</sub> çözeltisinden MgO ve HCl eldesine olan etkisi iki aşamalı şekilde ayarlanan deney sistemde belirlenmiştir.

Deneylerde MgCl<sub>2</sub> çözeltisi pirohidroliz işlemi ile buharlaştırılmasının yanı sıra, deney sonunda oluşan MgO taneciklerinin H<sub>2</sub>O ile reaksiyonu sonucunda Mg(OH)<sub>2</sub> elde edilmiştir.

Katı/sıvı ayrımı yapılarak elde edilen Mg(OH)<sub>2</sub> 60 dk süre ile tekrar kalsine edilmiştir. Her bir deney sonunda elde edilen MgO tanecikleri karakterizasyon analizleri öncesinde 105 °C sıcaklıkta 24 saat kurutulmuştur.

## 2.1 Elde Edilen Ürünlerin Karakterizasyon Analizleri

Dolomit cevherinin HCl ile özütlenmesiyle başlayıp, MgO üretimi ile sona eren çalışma sırasında karbondioksit (CO<sub>2</sub>), aragonit (CaCO<sub>3</sub>) ve magnezyum oksit (MgO) elde edilmiştir. Çalışmanın farklı aşamalarında elde edilen bu ürünlerin analizleri, aşağıda verilen yöntemler ve cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

**Kimyasal Analiz:** Her deney sonunda ürünün kimyasal analizleri için, Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan ve standartsız bir şekilde ölçüm yapan Panalytical (MiniPal 4) marka X-Işını Floresans (XRF) cihazı kullanılmıştır. Ayrıca numunelerin yaş kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir.

**SEM Analizi:** Her bir ürünün morfolojik analizi Mersin Üniversitesi, İleri Teknoloji Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan Zeiss marka (Supra 55 model) taramalı elektron mikroskobu ve İzmir İleri teknoloji Enstitüsü, Malzeme Araştırma Merkezinde bulunan Philips XL 30S FEG marka taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir.

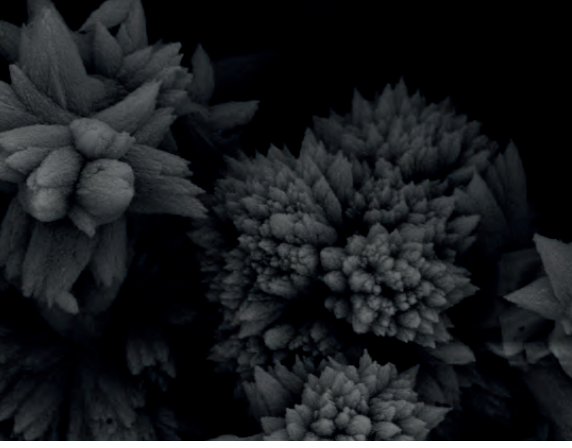
**XRD Analizi:** X-Işını difraksiyon analizleri Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarında bulunan Rigaku marka X-Işını difraktometre (XRD) ile gerçekleştirilmiştir. ÇKK, MgO ve MOC ürünlerinin mikro yapıları Cu-K radyasyonu kullanılarak 15 ve 85° aralığında dk'da 2° tarama hızında taranmıştır. Her bir numune için tarama süresi yaklaşık 30 dk olarak belirlenmiştir.

**Özgül Yüzey Alanı ve Tane Boyutu Analizi:** Deneyler sırasında elde edilen ÇKK ve MgO'nin özgül yüzey alanı ve tane boyutu analizleri Niğtaş A.Ş. firmasının laboratuvarlarında Mie kuramına uygun olarak Malvern marka Hydro 2000MU model tane boyutu analiz cihazıyla gerçekleştirilmiştir.

## 3 ARAŞTIRMA BULGULARI

Karbonizasyon işlemi sonucunda elde edilen magnezyum yönünden zengin çözeltiden her bir deneyde 200 mL kullanılmıştır. Yan ürün olarak elde edilen ve aragonit kristallerinden oluşan CaCO<sub>3</sub>'a ait SEM fotoğrafı ise Şekil 2'de görülmektedir.

Deneylerde kullanılan çözeltinin içerdiği Mg<sup>2+</sup> ve Cl<sup>-</sup> değerleri sırasıyla 8,22 g (0,34 mol) ve 27,62 g (0,779 mol) olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Aragonit kristallerinden oluşan  $\text{CaCO}_3$ 'a ait SEM fotoğrafı

### 3.1 Reaksiyon Süresinin MgO Elde Edilmesine Olan Etkisi

Karbonizasyon işlemleri sonucunda elde edilen  $\text{MgCl}_2$  çözeltisinden MgO elde edilmesi ve açığa çıkan klor gazının su içinde yoğunlaşması ile HCl şeklinde geri kazanımı için ilk aşamada 850 °C sabit sıcaklıkta ve farklı sürelerde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Kuvars cam kap içine eklenen 200 mL  $\text{MgCl}_2$  çözeltisi, sıcaklığın etkisiyle bozunmaya başlayarak içerdiği su ile birlikte  $\text{Cl}^-$  iyonları buharlaşmış ve MgO tanecikleri deney kabı içinde kristalize olmuş bir şekilde elde edilmiştir (Çizelge 1). Deney sırasında açığa çıkan klor gazının basıncı literatürde de görüldüğü gibi 1 atm civarında olduğu için su içinde kolaylıkla depolanabilmiştir (Kipouros ve Sadoway, 2001).

Çizelge 1. Farklı pirohidroliz sürelerinde elde edilen ürünlerin miktarları ve kimyasal içerikleri

Süre (dk)	Elde edilen ürün (g)	Elde edilen ürünün kimyasal içeriği		
		MgO (%)	Cl (%)	CaO (%)
180	14,23	91,81	8,06	0,01
210	14,18	94,56	5,44	0,01
240	14,17	94,66	5,33	0,01
270	14,14	94,68	5,31	0,01

Ancak, 210 dk ve daha uzun sürelerde elde edilen ürünün MgO içerikleri birbirine

yakın çıkmış ve Cl içeriği %5'in altına indirilememiştir.

Bu nedenle, en iyi pirohidroliz süresi bir sonraki aşamada kullanılmak üzere 210 dk olarak belirlenmiştir.

### 3.2 Reaksiyon Sıcaklığının MgO Elde Edilmesine Olan Etkisi

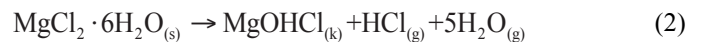
$\text{MgCl}_2$  çözeltisinden MgO elde edilmesi ve açığa çıkan klor gazının HCl olarak geri kazanımı işlemi sırasında pirohidroliz sıcaklığının etkisinin belirlenebilmesi için 210 dk'lık reaksiyon süresinde ve farklı sıcaklıklarda (400, 500, 600, 650, 700, 800, 850, 900, 1000 ve 1100 °C) deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Birinci aşamada farklı pirohidroliz sıcaklıklarında elde edilen ürünlerin miktarları ve kimyasal içerikleri

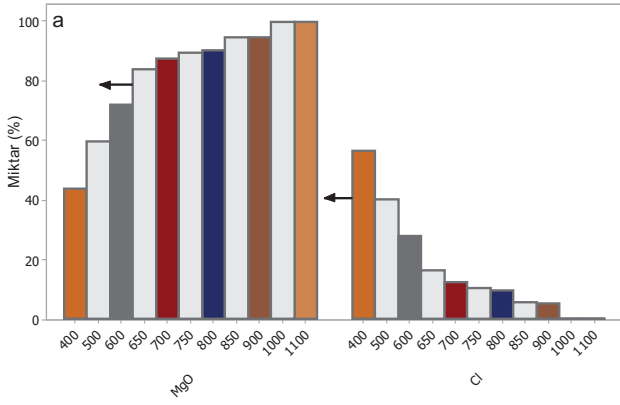
Sıcaklık (°C)	Elde edilen ürün (g)	Elde edilen ürünün kimyasal içeriği		
		MgO (%)	Cl (%)	CaO (%)
400	31,16	43,59	56,34	0,07
500	23,27	59,65	40,34	0,01
600	18,46	72,15	27,84	0,01
650	16,65	83,71	16,28	0,011
700	15,65	87,48	12,50	0,012
750	14,28	89,66	10,32	0,012
800	14,24	90,32	9,65	0,013
850	14,18	94,56	5,44	0,01
900	14,19	94,53	5,32	0,05
1000	14,05	99,79	0,18	0,01
1100	14,05	99,79	0,18	0,01

Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneylerde elde edilen katı taneciklerin MgO formunda oluşmadığı ve içermiş olduğu  $\text{Cl}^-$  iyonu ile birlikte bağ yaparak  $\text{MgOHCl}$  fazında kristallendiği literatürde görülmektedir (Bakker, 2011).

Aşağıda verilen (2) nolu Eşitlik düşük sıcaklıkta gerçekleştirilen pirohidroliz işleminde gerçekleşen muhtemel reaksiyonu temsil etmektedir.

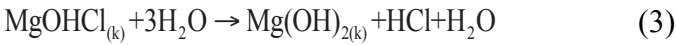


Pirohidroliz sıcaklığının artması  $\text{MgOHCl}$  formunda oluşan taneciklerin bozunmaya başlamasına neden olmuş ve elde edilen MgO taneciklerinin içerdiği Cl miktarında azalma gözlenmiştir (Şekil 3).

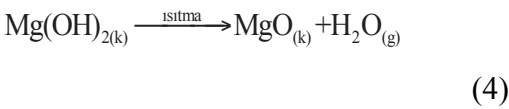


Şekil 3. Birinci aşama sonunda farklı pirohidroliz sıcaklıklarında elde edilen her bir ürünün kimyasal içeriği

İki aşamalı pirohidroliz işlemlerinin ilk aşamasında düşük sıcaklıklarda MgOHCl şeklinde elde edilen katı tanecikler, içerdiği Cl'ün bünyesinden uzaklaştırılabilmesi için, su ile reaksiyona sokulmuştur. Aşağıda verilen (3) nolu Eşitlik gerçekleşen muhtemel kimyasal reaksiyonu temsil etmektedir.



Katı/sıvı ayırımı yapılarak elde edilen Mg(OH)<sub>2</sub> taneciklerinin (4) nolu Eşitlikte görüldüğü gibi birinci aşama ile aynı pirohidroliz sıcaklığında kalsine edilmesiyle MgO tanecikleri elde edilmiştir. Kalsinasyon işlemi 60 dk sürmüştür.



Çizelge 3'de ikinci aşama sonunda elde edilen her bir ürünün miktarı ve kimyasal içeriği görülmektedir.

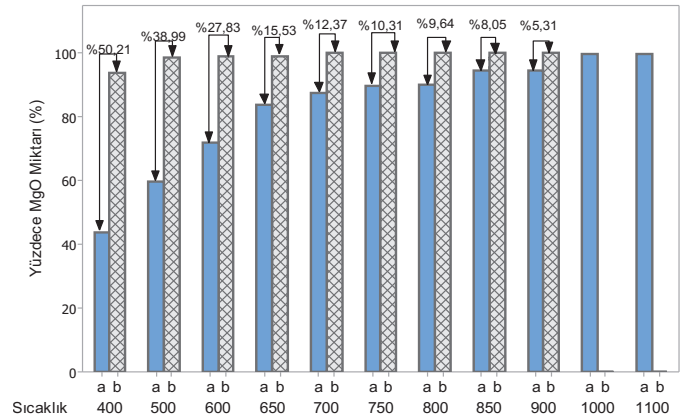
Birinci aşama ve ikinci aşamada elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırıldığında ise; 1000 °C veya daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneylerde elde edilen taneciklerin içerdiği Cl miktarı oldukça düşük çıkmıştır. İkinci aşama uygulandığında ise pirohidroliz sıcaklığı 700 °C iken, MgCl<sub>2</sub> çözeltisinin içerdiği Cl

iyonlarının tamamı bozunarak buharlaşmıştır. Buna karşın, pirohidroliz sıcaklığı 400 °C olduğunda, elde edilen taneciklerin içerdiği Cl miktarı %6,19 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. İkinci aşama sonunda farklı pirohidroliz sıcaklıklarında elde edilen ürünlerin miktarları ve kimyasal içerikleri

Sıcaklık (°C)	Elde edilen ürün (g)	Elde edilen ürünün Kimyasal içeriği		
		MgO (%)	Cl (%)	CaO (%)
400	13,74	93,80	6,19	0,012
500	13,91	98,64	1,35	0,015
600	13,97	99,13	0,85	0,019
650	13,97	99,21	0,77	0,02
700	14,01	99,98	Belirlenemedi	0,021
750	14,01	99,98		0,021
800	14,01	99,98		0,021
850	14,01	99,98		0,022
900	14,01	99,98		0,022
1000	14,01	99,98		0,022
1100	14,01	99,98		0,022

Birinci aşamada ve ikinci aşama sonunda elde edilen taneciklerin karşılaştırılması Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Elde edilen numunelerin MgO içeriklerinin karşılaştırılması: a) tek aşamalı, b) iki aşamalı

Birinci aşamada ve 400 °C' sıcaklıkta elde edilen numunelerin MgO içeriği %43,59 iken, iki aşamada elde edilen numunenin MgO içeriği %93,80 olarak belirlenmiştir.

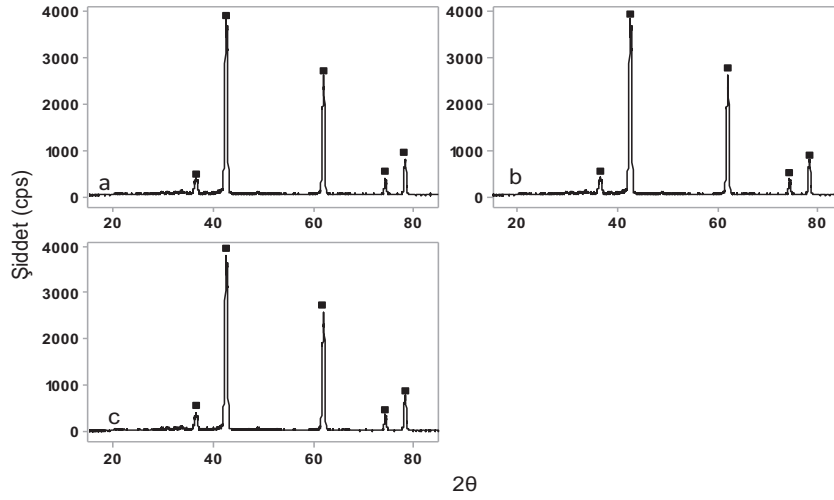
Numunenin MgO içeriğinin %90 ve üzerinde olması için iki aşamada gerçekleştirilen deneylerde reaksiyon sıcaklığının 400 °C olması yeterli iken, tek aşamada gerçekleştirilen deneylerde reaksiyon sıcaklığının en az 800 °C olması gerektiği elde edilen sonuçlardan anlaşılmıştır. Numunenin MgO içeriğinin %99,98 ve üzerinde olması için, iki aşamada



gerçekleştirilen deneylerde reaksiyon sıcaklığının 700 °C olması yeterlidir. Ancak, tek aşamada reaksiyon sıcaklığının en az 1000 °C olması gerekmektedir.

Birinci aşama ve ikinci aşamada elde edilen yüksek saflığa sahip MgO

taneciklerinin XRD grafikleri Şekil 5’de görülmektedir. İki farklı deney şartlarında elde edilen numunelerin periklas minerali olduğu tespit edilmiştir.(PDF Card No: 01-076-6597).



Şekil 5. Birinci aşama ve ikinci aşamada elde edilen MgO taneciklerine ait XRD grafikleria) birinci aşama, 1100 °C b) birinci aşama 1000 °C c) ikinci aşama 700 °C (■= MgO, periklas)

Şekil 6’da, birinci ve ikinci aşama pirohidroliz testlerinde elde edilen MgO taneciklerinin tane boyut dağılımları görülmektedir. Farklı aşama ve sıcaklıklarda üretilen MgO taneciklerine ait  $d_{10}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{90}$  ve  $d_{97}$  değerleri belirlenmiştir. Çizelge 4’de

verilmiş olan bu değerler incelendiğinde, tek aşama ve daha yüksek sıcaklıklarda üretilen MgO taneciklerinin mikronize boyutlarda oluştuğu, iki aşamalı pirohidroliz testlerinde ise nano boyut dağılımına sahip MgO taneciklerinin üretildiği belirlenmiştir.

Şekil 6. Birinci ve ikinci aşamada elde edilen MgO taneciklerine ait tane boyut dağılım grafikleri

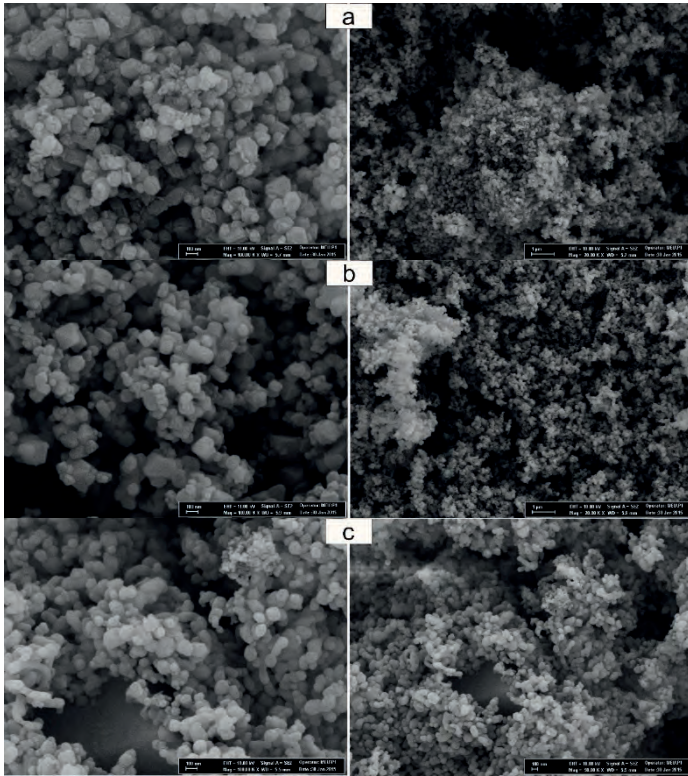
Sıcaklığa bağlı olarak elde edilen MgO taneciklerinin tane boyut dağılımdaki değişim, gerçekleştirilen SEM analizlerinden anlaşılmıştır. Şekil 7’de iki aşamada üretilen MgO taneciklerinin SEM fotoğrafları görülürken, bir aşama ve daha yüksek

sıcaklıklarda elde edilen MgO taneciklerinin SEM fotoğrafları Şekil 8’deki gibidir. İki aşamada üretilen MgO taneciklerinin nano boyut dağılımına sahip olduğu SEM fotoğraflarından da anlaşılmıştır.

Çizelge 6. Birinci ve ikinci aşamada üretilen MgO taneciklerinin tane boyut dağılımları

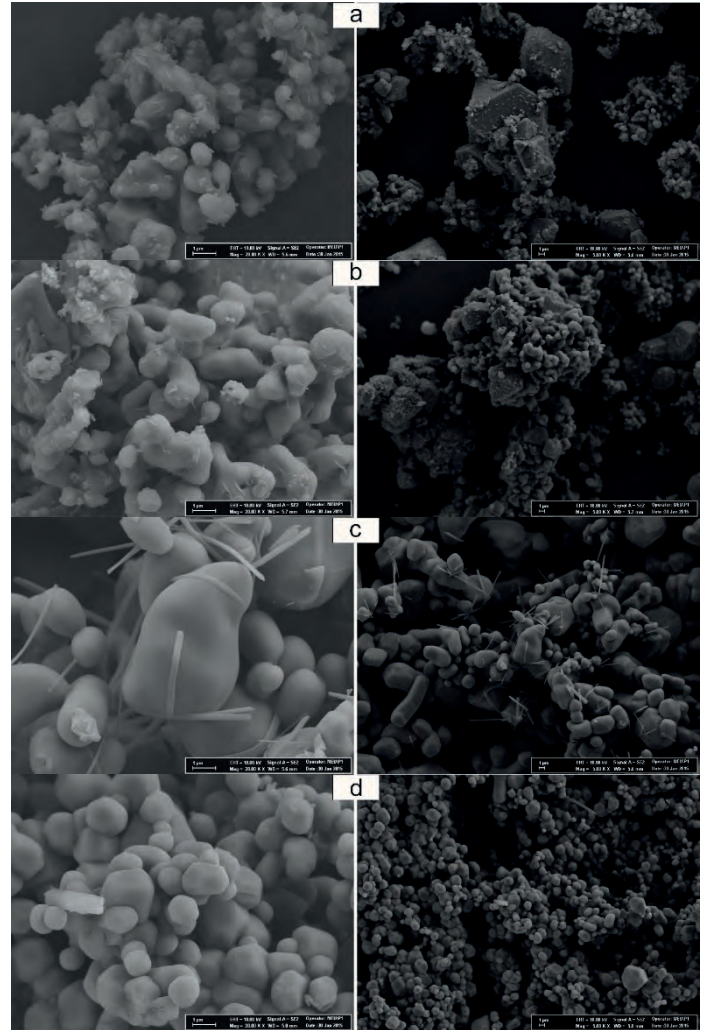
Birinci aşama pirohidroliz testi				
Sıcaklık (°C)	d <sub>10</sub> (µm)	d <sub>50</sub> (µm)	d <sub>90</sub> (µm)	d <sub>97</sub> (µm)
800	1,05	1,86	2,93	2,99
900	1,16	2,02	3,12	3,45
1000	1,38	2,80	5,72	5,78
1100	0,91	1,54	2,26	2,30
İkinci aşama pirohidroliz testi				
Sıcaklık (°C)	d <sub>10</sub> (nm)	d <sub>50</sub> (nm)	d <sub>90</sub> (nm)	d <sub>97</sub> (nm)
500	85,71	152,06	240,51	280,50
600	78,02	130,08	220,02	270,03
700	13,04	67,77	140,73	180,05

Buna karşın, daha yüksek sıcaklıklarda ve tek aşamada elde edilen periklas minerallerinin tane boyutunun 1 µm'den daha büyük olduğu ve homojen bir dağılıma sahip olmadığı SEM fotoğraflarından da anlaşılmaktadır.



Şekil 7. İki aşamada elde edilen periklas (MgO) mineraline ait SEM fotoğrafları: a) 500 °C, b) 600 °C, c) 700 °C

Pirohidroliz sıcaklığı 650 °C ve üzerinde yapılan kalsinasyon deneylerinde MgO taneciklerinin aglomere olduğu literatürde görülmektedir (Yoosuk ve ark., 2011).



Şekil 8. Birinci aşamada elde edilen periklas (MgO) mineraline ait SEM fotoğrafları, a) 800 °C, b) 900 °C, c) 1000 °C, d) 1100 °C

Şekil 7 ve Şekil 8'de verilen SEM fotoğrafları karşılaştırıldığında; kalsinasyon sıcaklığının (>700 °C) artması ile elde edilen MgO taneciklerinin aglomere olduğu ve bunun sonucunda da tane boyut değerinin yükseldiği söylenebilmektedir. Çizelge 6'da

verilmiş olan tane boyutu değerlerinden de yüksek sıcaklıkta daha iri tane boyutuna sahip periklas (MgO) elde edileceği görülmüş ve SEM fotoğrafları da elde edilen bu veriyi destekler nitelikte olmuştur.

Literatürde görüldüğü gibi, pirohidroliz sıcaklığı MgO'nin reaktivitesini etkilemektedir (Harper, 1967). Eğer pirohidroliz sıcaklığı 1000 – 1500 °C arasında ise elde edilen MgO'nin reaktivitesi oldukça düşük olmakta ve hard-burned MgO olarak sınıflandırılmaktadır. Buna karşın pirohidroliz sıcaklığı 1000 °C'nin altında ise elde edilen MgO'nin reaktivitesi oldukça yüksek ve light-burned MgO olarak isimlendirilmektedir. Yapılan deneylerde tek aşamada 1000 ve 1100 °C elde edilen MgO'nin reaktivitesinin oldukça düşük olduğu ve su ile reaksiyona girmediği tespit edilmiştir. İki aşamada elde edilen MgO'nin reaktivitesinin oldukça yüksek olduğu ve su ile oldukça hızlı bir şekilde reaksiyona girerek Mg(OH)<sub>2</sub> olduğu belirlenmiştir. Literatüre göre; bu çalışmada tek aşamada elde edilen periklas (MgO) minerali hard-burned sınıfında iken, iki aşamada elde edilen periklas (MgO) minerali light-burned sınıfına girmektedir.

#### 4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, Mersin/Aydıncık bölgesinden alınan dolomit cevherinden özütleme – karbonizasyon – pirohidroliz yöntemler uygulanarak nano boyut dağılımına sahip periklas (MgO) üretimi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- MgO üretimi sırasında aragonit kristallerinden oluşan CaCO<sub>3</sub>, yan ürün olarak elde edilmiştir.
- Endüstriyel alanda birçok kullanım alanına sahip ve yüksek saflığa sahip CO<sub>2</sub> gazı elde edilmiştir.
- Pirohidroliz işlemi tek aşamada yapılacaksa, sıcaklık 1000 °C veya daha yüksek olmalıdır.

- İki aşamalı pirohidroliz işlemlerinde daha düşük sıcaklıklarda istenilen şekilde MgO üretimi sağlanmıştır.
- Bir aşamada üretilen MgO mikronize boyutlarda elde edilirken, iki aşamalı sistemde nano boyut dağılımına sahip MgO üretimi sağlanmıştır.
- Yüksek sıcaklıklarda üretilen MgO'nin reaktivitesi düşük, düşük sıcaklıklarda üretilen MgO'nin reaktivitesi yüksektir.
- Nano boyut dağılımına sahip MgO tanecikleri endüstriyel alanda birçok uygulamada kullanılabilecek özelliktedir.

#### TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışma süresince maddi destek sağlayan Çukurova Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi'ne teşekkürü bir borç bilir (Proje No: MMF13D18).

#### KAYNAKLAR

Abdel-Aal, E.S.A., 1995. Possibility of utilizing egyptian dolomite ores ofor production of magnesium oxide by acid leaching. *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii* 29.

Altiner, M., Yildirim, M., 2016. Production and characterization of synthetic aragonite prepared from dolomite by eco-friendly leaching-carbonation process. *Advanced Powder Technology*, (Accepted article).

Altiner, M., Yildirim, M., Yilmaz, T., 2016. Leaching of Mersin/Aydincik dolomite ore in hydrochloric acid. Dissolution rates. *Physicochemical Problems of Mineral Processing* 52, 536-550.

Alvarado, E., Torres-Martinez, L.M., Fuentes, A.F., Quintana, P., 2000. Preparation and characterization of MgO powders obtained from different magnesium salts and the mineral dolomite. *Polyhedron* 19, 2345-2351.

Al-Zahrani, A.A., Majeed, M.H.A., 2013. Production of magnesia from local dolomite ores and rejected brines from local

- desalination plants, Proceedings of the Seventh Saudi Engineering Conference, Riyadh.
- Bakker, J. S. 2011. The recovery of magnesium oxide and hydrogen chloride from magnesium chloride brines and molten salt hydrates. Queen's Universitesi – Doktora Tezi, 280 sayfa.
- Fedorov, P.P., Tkachenko, E.A., Kuznetsov, S.V., Voronov, V.V., Lavrishchev, S.V., 2007. Preparation of MgO nanoparticles. *Inorganic Materials* 43, 502-504.
- Hadia, N.M.A., Mohamed, H.A.-H., 2015. Characteristics and optical properties of MgO nanowires synthesized by solvothermal method. *Materials Science in Semiconductor Processing* 29, 238-244.
- HARPER, F. C., 1967. Effect of calcination temperature on the properties of magnesium oxides for use in magnesium oxychloride cements. *Journal of Applied Chemistry*, 17(1):5-10.
- Ilyina, E.V., Mishakov, I.V., Vedyagin, A.A., 2009. Preparation of nanocrystalline  $\text{VMg(OH)}_x$  and  $\text{VO}_x\text{MgO}$  from organometallic precursors. *Inorganic Materials* 45, 1267-1270.
- Kipouros, G.J., Sadoway, D.R., 2001. A thermochemical analysis of the production of anhydrous  $\text{MgCl}_2$ . *Journal of Light Metals* 1, 111-117.
- Kumari, L., Li, W.Z., Vannoy, C.H., Leblanc, R.M., Wang, D.Z., 2009. Synthesis, characterization and optical properties of  $\text{Mg(OH)}_2$  micro-/nanostructure and its conversion to MgO. *Ceramics International* 35, 3355-3364.
- Lee, S.Y., Lee, S.H., Nah, E.J., Lee, S.S., Kim, Y., 2002. Heteroepitaxial growth of MgO films on Si(0 0 1) substrates using cubic SiC as a buffer layer. *Journal of Crystal Growth* 236.
- Manin, M., Thollon, S., Emieux, F., Berthome, G., Pons, M., Guillon, H., 2005. Deposition of MgO thin film by liquid pulsed injection MOCVD. *Surface and Coatings Technology* 200, 1424-1429.
- Mantilaka, M.M.M.G.P.G., Pitawala, H.M.T.G.A., Karunaratne, D.G.G.P., Rajapakse, R.M.G., 2014. Nanocrystalline magnesium oxide from dolomite via poly(acrylate) stabilized magnesium hydroxide colloids. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 443, 201-208.
- Meshkani, F., Rezaei, M., 2009. Facile synthesis of nanocrystalline magnesium oxide with high surface area. *Powder Technology* 196, 85-88.
- Mustafa, A.M.K., Al-Dahan, D.K., Khachik, T.V., 2014. Laboratory study of MgO preparation from Iraqi dolomite by leach-precipitation-pyrohydrolysis process. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining* 10, 83-107.
- Sasaki, T., Shimizu, Y., Koshizaki, N., 2006. Preparation of metal oxide-based nanomaterials using nanosecond pulsed laser ablation in liquids. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 182, 335-341.
- Selvam, N.C.S., Kumar, R.T., Kennedy, L.J., Vijaya, J.J., 2011. Comparative study of microwave and conventional methods for the preparation and optical properties of novel MgO-micro and nano-structures. *Journal of Alloys and Compounds* 509, 9809-9815.
- Yildirim, M., Akarsu, H., 2010. Preparation of magnesium oxide (MgO) from dolomite by leach-precipitation-pyrohydrolysis process. *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 44, 257-272.
- Yoosuk, B., Udomsap, P., and Puttasawat, B., 2011. Hydration–dehydration technique for property and activity improvement of calcined natural dolomite in heterogeneous biodiesel production: Structural transformation aspect. *Applied Catalysis A: General*, 395(1-2):87-94.

# Bilyalı Değirmen İç Aksamı Tasarımının Öğütme Verimliliğine Etkisi

## *Three Reasons for High Quality Ball Mill Internals*

A. Kızılay

*YOLTAŞ Yol Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul*

T. Nowack

*Christian Pfeiffer Maschinenfabrik GmbH, Beckum*

**ÖZET** Modern bir çimento üretim tesisinde 1 ton klinker üretimi için 3.100 - 3.400 MJ yakıt, 1 ton çimento üretimi için 90 - 130 kWh elektrik tüketilir. Eski veya verimsiz tesislerde bu miktar çok daha yüksek olacaktır. Sadece bilyalı çimento değirmenlerindeki tüketim, hammaddelerin öğünülebilirliğine, kullanılan katkılara ve tesis tasarımına bağlı olarak ton başına 25 - 50 kWh olur. Pekiyi, bu enerjinin ne kadarı gerçekten öğütmede harcanır? Proses sırasındaki ısınma, sürtünme, ses ve vibrasyon kayıpları düşüldükten sonra çekilen gücün sadece % 3-6 sı fiili öğütme için harcanır.

Değirmen performansına etki eden 6 ana faktör vardır. Bunlar: Beslenen malzemenin öğünülürlüğü, nemi, v.b. özellikleri; çimentonun inceliği; tesis tasarımı; işletme ve bakım ile kullanılan kimyasallardır. Bir öğütme tesisinde tüketilen enerjinin yaklaşık %85 i bilyalı değirmende tüketildiği için, bilyalı değirmen tasarımına önem verilmelidir. Klasik 2 kamaralı bir bilyalı değirmen için iyileştirme önerileri: Değirmen astar plakaları tasarımı; ara bölme ve ızgara plakaları; havalandırma; istenilen inceliği sağlamaya uygun bilya şarjı ile doluluk oranı.

**ABSTRACT** Cement manufacture consumes typically 3,100 – 3,400 MJ of fuel / t clinker and 90 – 130 kWh / t cement in a modern plant, and even more for older or less efficient plants. Finished grinding may consume 25 – 50 kWh / t cement, depending on the feed material grindability, additives used, plant design and especially the required cement fines. How much of consumed power in a ball mill is really utilized for comminution? After losses like heat, friction, wear, sound and vibration, only 3 – 6 % of the consumed power is used for effective comminution.

Basically 6 key factors affecting mill performance: Feed characteristics like grindability, moisture, etc.; cement fines; equipment design; operations & maintenance and the use of additives and admixtures. Ball mill typically accounts for 85% of the total energy consumed in a grinding plant and should be the focus of improvements. Proposed improvements for a typical two chamber ball mill: Mill shell lining design; diaphragms and slotted plates; ventilation, grinding media composition and fill ratio.

## 1 GİRİŞ

Modern bir çimento üretim tesisinde 1 ton klinker üretimi için 3.100 - 3.400 MJ yakıt, 1 ton çimento üretimi için 90 - 130 kWh elektrik tüketilir. Eski veya verimsiz

tesislerde bu miktar daha fazla olacaktır. Tüketilen elektriğin 2/3 ü hammadde, kömür ve klinker üretimi için harcanır. Genelde tüketilen elektriğin yaklaşık 2/3 ü hammadde, kömür ve klinker öğütmek için tüketilir. Sadece bilyalı çimento

değirmenlerindeki tüketim, hammaddelerin öğünülebilirliğine, kullanılan katkılara ve tesis tasarımına bağlı olarak ton başına 25 - 50 kWh olur. Peki, bu enerjinin ne kadarı gerçekten öğütmede harcanır? Proses sırasındaki ısınma, sürtünme, aşınma, ses ve vibrasyon kayıpları düşüldükten sonra çekilen gücün sadece % 3-6 sı fiili öğütme için harcanır.

Değirmen performansına etki eden 6 ana faktör vardır. Bunlar: Beslenen malzemenin öğünülürlüğü, nemi, v.b. özellikleri; çimentonun inceliği; tesis tasarımı; işletme ve bakım ile kullanılan kimyasallardır.

Bir öğütme tesisinde tüketilen enerjinin yaklaşık %85 i bilyalı değirmende tüketildiği için, bilyalı değirmen tasarımına önem verilmelidir.

## 2 DEĞİRMEN İYİLEŞTİRMESİ

Klasik 2 kamaralı bir bilyalı değirmen için iyileştirme önerileri: Değirmen astar plakaları tasarımı; ara bölme ve ızgara plakaları; değirmen havalandırması; istenilen inceliği sağlamaya uygun bilya şarjı ile doluluk oranı.

Değirmen iç aksam tasarım değişimi ile, %5-15 kapasite artışı sağlamak mümkündür. Kapasite artış potansiyeli birinci kamara astarlar değişiminde %3-5, ikinci kamara astarları değişiminde %5-10, ara bölme değişiminde %3-5 mertebesindedir.

### 2.1 Değirmen Astar Plakaları Tasarımı

Değirmen astar plakaları tasarımı, ideal öğütme şartları sağlamak için ilk adımdır.

#### 2.1.1 Birinci kamara astar plakaları

Birinci kamara astar plakalarında “savurucu” özellik gereklidir. Bilyaların yeterince yukarı kaldırılarak iri malzemeleri darbe ve ezme etkisi ile parçalanması sağlanır. Bu etkinin astar plakası kırılmasına neden olmaması da gerekir.

“Activator” tipi tasarımda, kullanım süresince artacak aşınmaya rağmen yaklaşık aynı savurma yüksekliği muhafaza edilir. Dolayısı ile tüm kullanım süresince yaklaşık aynı nominal kapasite ile öğütme sağlanmış

olur. Öğütme faktörü (GF) %100 dür; diğer tip astar plakalarında %6 - %12 oranında kayıp söz konusudur. Cıvatalı, cıvatasız (sıkıştırılmalı) veya kısmi cıvatalı montaj mümkündür.

#### 2.1.1 İkinci kamara astar plakaları

İkinci kamara astar plakalarında “yuvarlanma” özelliği gerekir. Bilyaların fazla yukarı kaldırılmadan hareket ettirilerek sürtünme ve ezme etkisi ile ince malzemeyi öğütmesi istenir. Ayrıca “tasnif edici” plakalarla, bilyaların çaplarına ve malzeme inceliğine uygun olarak tasnif edilmesi hedeflenir.

### 2.2 Ara Bölme ve Izgara Plakaları

Öğütme prosesini etkileyen önemli değirmen iç aksamından biri de ara bölmedir.

#### 2.2.1 Ara bölme

Ara bölme, birinci ve ikinci kamara arasında öğütülmüş malzeme geçişini sağlar, bilya şarjını ayırır ve hava akımını ayarlar.

Değirmen gövdesine rijit bağlı ara bölmelerde değirmen sehimi nedeniyle sorunlar yaşanabilir. Monoblok tasarımlı, rijit ve “yüzer” şekilde yataklanmış ara bölme çok daha uzun ömürlü olur.

#### 2.2.2 Ara bölme ızgara plakaları

Genelde döküm olarak yapılan ızgara plakaları, işletmelerde en çok ilgi ve bakım gerektiren bir unsurdur. Bilya çarpması nedeni ile ezilme nedeni ile tıkanmalar ve kırılmalar sıklıkla görülür. Tıkanmalar, malzeme ve hava geçişine engel oluşturmakta; kırılmalar ise iri malzemenin yeterince öğütülmeden ikinci kamaraya geçmesine neden olmaktadır.

Haddelenmiş sacdan tezgahta talaşlı imalat yöntemi ile üretilen ızgara plakalarında tıkanma ve kırılma riski oldukça azalmakta, plakalar daha uzun ömürlü olmaktadır. 40 mm kalınlığında bir ızgara plakası, 8-10 mm kalınlığa kadar rahatlıkla kullanılabilir. Uygulamalar da bunu kanıtlamaktadır.

#### 2.2.2 Ara bölme malzeme akış kontrolü

İncelerek birinci kamaradan ikinci kamaraya geçecek malzemenin, ara bölme göbeğinin

üstünden değil, altından dökülmesi, ara bölmenin ön ve arkasındaki bölgede bilya arasında malzeme olmasını sağlar. Ara bölmenin ikinci kamara tarafında en dış ring plakalarının kör plaka değil, ızgaralı olması, buna ayrıca olumlu katkı yapar.

### 2.2.3 Değirmen havalandırması

Değirmen havalandırması, öğütme sırasında değirmen içinde oluşan ısının tahliyesi, soğutma ile ürün sıcaklığının düşürülmesi, su püskürtmenin azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması ile yeterli inceliğe gelmiş ürünün değirmenden tahliyesi için önemlidir.

Özellikle ara bölmedeki serbest geçiş alanının, uygun olmayan tasarım, tıkanış ızgara plakaları, v.b. nedenlerle azalması durumunda ara bölme bölgesinde yüksek hava hızı, erozyona bağlı aşınma, yüksek basınç farkı ve malzemenin ikinci kamarada çok ileriye dökülmesi gibi sorunlar yaşanabilir.

### 2.2.4 Bilya şarjı ve doluluk oranı

Ön ezici (roller press) kullanılmayan değirmenlerde, birinci kamara için Ø 90 - Ø 60 mm, ikinci kamara için Ø 50 - Ø 20 (Ø 18) mm bilya kullanılması önerilir. Verimli bir öğütme için, bilya şarjının klinker ve katkı özelliklerine, ürün tipine, istenilen ürün inceliğine ve işletme şartlarına uygun olarak optime edilmesi gerekir.

## 3 UYGULAMA ÖRNEKLERİ

### 3.1 Örnek 1

İşletme adı: Leube Çimento Fabrikası  
 Ülke: Avusturya  
 Değirmen: 2 kamaralı değirmen,  
 Ø 3,80 x 12,00 m  
 Ürün: CEM II AM-SL 42,5N  
 Blaine: 4.000 cm<sup>2</sup>/gr  
 Değişim: 1. Kamara astar plakaları

	Birim	Önce	Sonra	Fark
Kapasite	t/h	66,2	73,5	+%11
Enerji	kWh/t	36,7	33,0	-%10
Ürün ısısı	°C	95	95	

### 3.2 Örnek 2

İşletme adı: Lafarge Çimento Fabrikası  
 Ülke: Avusturya  
 Değirmen: 2 kamaralı değirmen,  
 Ø 4,60 x 14,40 m

Ürün: CEM II AM-SL 42,5N  
 Blaine: 4.000 cm<sup>2</sup>/gr  
 Değişim: Ara bölme

	Birim	Önce	Sonra	Fark
Kapasite	t/h	122	130	+%6,6
Enerji	kWh/t	35,1	33,0	-%6
Ürün ısısı	°C	115	110	-%5

### 3.3 Örnek 3

İşletme adı: Heidelberg Çimento Fabrikası  
 Ülke: Romanya  
 Değirmen: 2 kamaralı değirmen,  
 Ø 4,20 x 10,77 m  
 Ürün: CEM II A-S 32,5R  
 Blaine: 3.200 cm<sup>2</sup>/gr  
 Değişim: 1. ve 2. kamara astarları  
 Ara bölme

	Birim	Önce	Sonra	Fark
Kapasite	t/h	69	81	+%17,4
Enerji	kWh/t	35,1	33,0	-%14,4

## 4 SONUÇ

Geometrisi özel tasarlanmış birinci ve ikinci kamara astarları ile malzeme akış kontrollü ara bölmenin birlikte uygulanması, bir miktar kapasite artışının yanında özellikle kullanım ömürleri süresince düzenli aynı seviyede kalan öğütme şartları sağlar. Güvenilirdir.

Haddelenmiş sacdan tezgahta talaşlı imalat yöntemi ile üretilen ızgara plakaları kolay tıkanmaz, tüm kullanım ömürleri boyunca özel konik tasarımları ile düzenli malzeme geçişi sağlar. Fazla bakım gerektirmez. Uzun ömürlüdür.

# Türk Linyitler'inin ve Şırnak Asfaltit'inin Pirit ile Mikrodalga Pirolizi

## *Microwave Pyrolysis of Turkish Lignites and Şırnak Asphaltite By Pyrite*

Y. İ. Tosun

*Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak*

**ÖZET** Güneydoğu Anadolu bölgesinde Ergani ve Siirt bakır yataklarından bakır konsantresi üretilirken pirit atıkları ve yüksek piritli atıklar açığa çıkmaktadır. Bunlar süpürme flotasyonu atıkları ve konsantratör atıkları olarak alınmaktadır. Ergani bakır konsantratörü yaklaşık olarak yıllık 350 bin tonluk pirit atığı Sülfürik asit üretimine gönderirken Siirt de milyonlarca tonluk pirit içeren tesis atıkları oluşmaktadır. Bu atıklar kömürlerin mikrodalga fırın içerisinde pirolizini mümkün kılabilir. Ayrıca Türk linyitleri ile Şırnak Asfaltitleri bünyesinde mikron boyutunda yayılı ve makro boyutlu pirit mineral içeriğine sahiptir. Bu çalışmada %8 pirit içeren Şırnak Asfaltit ve Tunçbilek linyit kömürü mikrodalga ile 500°C de pirolize tabi tutulmuştur. Nem, uçucu madde çıkışı gözlenmiş ve daha temiz kömür ürün elde edilmiştir. Ayrıca yanabilir kükürt miktarı %23 oranında azalmıştır.

**ABSTRACT** In the Southeastern Anatolian Region of Turkey, in Ergani Elazığ and Siirt Şırvan copper ore concentrators, containing the pyrite and the high pyrite content discarded is received as pyrite concentrate from concentrating copper by flotation swept and waste products. Ergani Concentrator produce the pyrite concentrate by product about 350 thousand tons for sulfuric acid production and about 1,700 thousand tons of pyrite waste sent to dispose, Siirt Şırvan copper pyrite is not also evaluated. These pyrite waste products both should be evaluated by the microwave pyrolysis of Turkish Lignites and Şırnak Asphaltite which contains approximately 8% coal pyrite at separately disseminated micron and macro sized. The shale and clay content was also separated selectively in this microwave processing in terms of high carbon contents. In this study, samples are subjected to microwave pyrolysis by roasting of pyrite waste and subsequently pelletized coal samples were subjected to microwave pyrolysis by pyrite at 500°C. Extraction of moisture and volatile matter improves cleaning of coal types for lignites and Şırnak asphaltite at certain degree. The sulfur contents were also decreased at 23% for Şırnak Asphaltite.

## 1 GİRİŞ

Ergani Elazığ ve Siirt Şırvan piritli bakır cevheri flotasyon ile konsantre edilmektedir. Konsantratör de süpürme devresinde atık piritli -74 mikron ve daha ince şlam boyutta olmaktadır. Genellikle Ergani Konsantratörü pirit konsantre ürün sülfürik asit üretimine gönderilmektedir ve ayrıca 1,700 bin ton atık tumba atık sahasına gönderilir. Bu atık ürünler hem bakırca ve diğer metal içerikleri açısından hem de metal Co ve Ag içerikler açısından değerlendirilmelidir. Bu çalışmada kullanılan numuneler iri +10mm lik pirit atık

peleti mikrodalga etkileşim için fırına konmaktadır. Kömürün pirolizi için ağırlık olarak eş değer miktarda piroliz hücrelerine kömür tozu ile mikrodalga etkileşim karışım üzerine uygulanmıştır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin pirit atıklarının tercih edilmesinin asıl nedeni yüksek tenörlü yataklardan oluşmasıdır. Siirt Şırvan da kısmen % 2-4 Cu ihtiva eden kompleks bakır sülfid cevherinden yüksek piritli atık çıkabilmektedir. Benzer şekilde de Ergani ve Hakkari, bakır, kurşun, çinko sülfid yataklarında pirit büyük bir rezerv dağılımı göstermektedir. Bu çalışmada Tunçbilek



linyitine ve Şırnak asfaltiti üzerinde yapılan mikrodalga piroliz için kömür türünün etkinliği tartışılmıştır. Bu çalışmada; Peletleme ve mikrodalga kavurma koşullarını, kömür türünün reaktivitesini belirlemek için ön testler yapan fiziksel ve kimyasal parametreler ve kimyasal özelliklere olan etkileri de araştırılmıştır.

## 1.1 Siirt, Ergani Piritli Bakır Yatakları

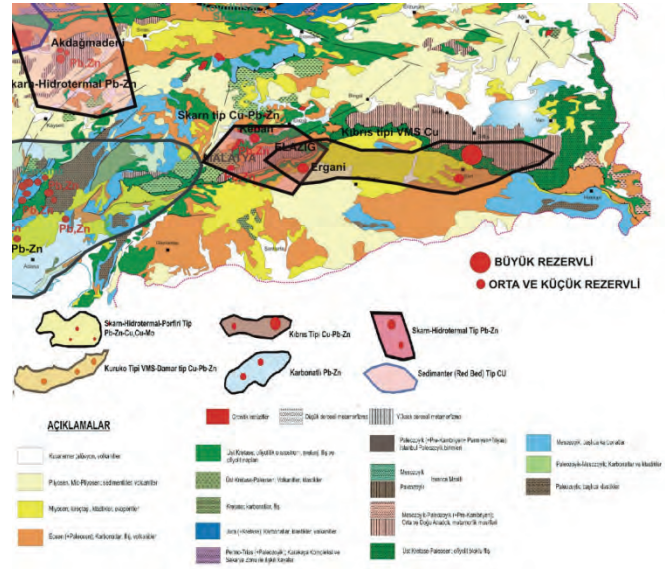
Alp orojenezi yer almaktadır Türkiye'de ana metalojenik illerde şerit 4'te 650 inceleme bakır yatağı görülmektedir:

1. Makedonya'dan gelen Balkan-Karadeniz, İran'dan Himalaya'ya uzanan Sinop kuşağının kapanışından bu yana Doğu Karadeniz ve Kafkasya'da devam etti. Bu kuşak, porfiri bakır yataklarında ve Kuroko tipi masif sülfid yataklarında yaygındır. Dereköy Kırklareli, Bakırçay (Merzifon), Güzeyayla, Maka, Ulutaş-İspir ve Ballica-Yusufeli- (Artvin) bu kuşak, porfirli bakır yataklarıdır. Bunlar, Balkanlar'daki ortalama bakır dereceli porfir bakır yataklarından düşük. Ayrıca Espie-Lahanos, Çayeli, Blessed, Murgul volkanik masif sülfid yataklarıdır ve Çerattepe'de bu nesildir.

2. Kıbrıs Alexander - Hakkari üzerinden gelir ve İran arasında devam eder Güneydoğu Anadolu'da Ofiyolit Kemerli Kıbrıs tipi bakır yataklarındandır. Ergani bakır ve bakır yatakları Siirt Madenköy'de bu jenerasyon için önemlidir.

3. Üçüncüsü hala bakır yatağın yatağının türü olan Batı Kıbrıs'ın Karadeniz bölgesindeki Globe metalojenik illerdir.

4. Plutonizm asidik hidrotermal damarları ve kontakmetasomatik bağlı bakır-kurşun-çinko yatakları kuzeybatı Anadolu Bölgesi'nde bulunan metalojenik illerde dördüncü sırada yer almaktadır. Bakır porfirinin dünyadaki tüketimi, asidik bakır yataklarının büyük bir bölümünü karşılamakta olup, magmatik kayalarda kalker ihtiva etmektedir Ülkemizde yaygın olarak görülen. Bununla birlikte, Türkiye, rezerve sahip olmadığını ve bugüne kadar belirlenmiş porfiri bakır yatakları mevcut koşullar altında işletilebileceğini göstermektedir (DPT, 2013). Bu yataklarda bulunan metal değerleri, kobalt bakır ile karşılaştırıldığında, ekonomik değer üç kat fazla olduğu görülür.



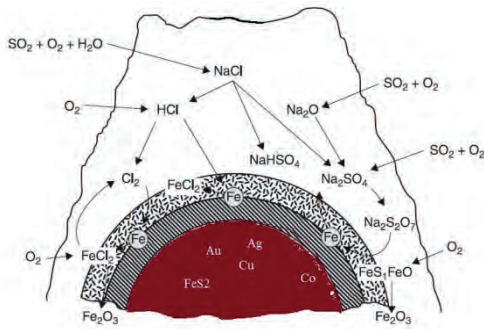
Şekil 1. Güney Doğu Anadolu Ekonomik Bakır Rezervlerinin Jeolojik Haritası Dağılımı

Atıktan pirit çözültüsünün değerlendirilmesinde kullanılan genel prosedür, sülfürik asit üretimine gönderilir. Madende kalkopirit cevheri, konsantratörlerden önce fiziksel yöntemlerle pirit ve daha sonra bakır mineralleri flotasyon ile zenginleştirilmektedir (Anonim a,b,c,d,e 2016). Üretilen bakır konsantre ergitme ile mat ve blister bakıra dönüştürülmekte ve gümüş daha sonra geri kazanılmaktadır. Kobalt, eritme sırasında dönüştürücü cürufa giriyor ve değerlendirilemiyor. Pirit konsantresindeki Co, Cu, Au ve Ag metal değerlerinin pirit külü atıklarından küllerin değerlendirilmesi sırasında kazanılabilir. Pirit genellikle sülfürik asit üretimine gönderilir. Pirit konsantrasyonunda sürekli olarak kalma, pirit külü atıklarında kavruktan sonra metal gibi Cu, Au ve Ag değerleri, ancak külleri değerlendirirken kazanılabilir

## 1.2 Mikrodalga İle Kömür Pirolizi

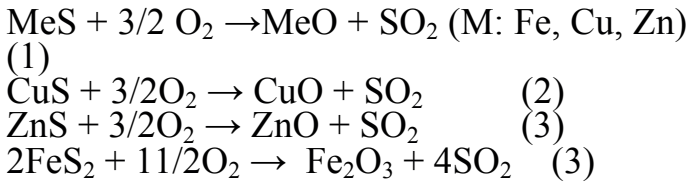
Mikrodalga elektromanyetik dalgaların minerallerin dielektrik niteliğine bağlı olarak dalgaları kısmen sönmlediği (Chen vd.1984, Datta vd. 1995, Datta vd. 2000) ve özellikle demir minerallerine özgü yüksek sıcaklıklara kısa sürede ısınmanın meydana geldiği gözlenmiştir (Amankwah ve Pickles.2005 Amankwah 2005). Özellikle manyetik etki altında piritin kavru olarak yanması çok kısa sürede gerçekleşebilmektedir (El-Shami vd.. 1992 Gabriel vd. 1998, Hutcheon vd. 1992, Haque vd., 1998). Özellikle değerlendirilmesi

mümkün olmayayan atık veya fakir demir cevherleri manyetit ve hematit içeren fakir cevherler bu yöntemle faydalı hale getirilebilmektedir. Isı taşıyıcı ve iletici sentetik malzeme olabilmektedirler (Standish vd., 1990, Standish vd., 1991 (VanWyk vd. 1998 Veasey vd. 1990, Walkiewicz vd. 1991, Walkiewicz 1988) ve mikrodalga fırın içerisinde kömürün kurutulması ve pirolizi mümkün olmaktadır. Yaygın olarak malzeme kurutmada mikrodalga endüstriyel fırınlar ekonomik ve avantajlı olduğu tespit edilmiştir (Metaxas vd., 1983, Ma ve Pickles 2003). Özellikle kömürlerin niteliklerinin geliştirilmesinde mikrodalga prosesleri ekonomiye fayda sağlayacaktır.



Şekil 2. Mikrodalga etkisi altında piritin kesitinde oluşan oksidasyon reaksiyonları.

Mikrodalga radyasyonu altında metal sülfid mineralleri kolaylıkla aşağıdaki reaksiyona göre oksitlenmektedir. Sıcaklıklar mineral türüne bağlı olarak aşağıdaki çizelgede olduğu gibi kısa sürede 700°C - 1000°C üzerine çıkabilmektedir. Silikat içeriği ancak 200°C çıkabilmektedir.



## 2 MALZEME VE METHOD

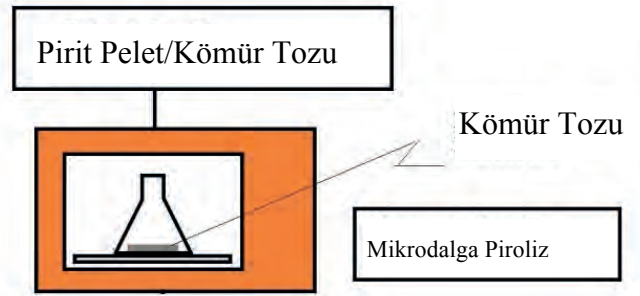
Testlerde kullanılacak pirit atık 350 °C 'de 4 saat boyunca 10mm lik pellet olarak soğuk bağlanmıştır. Erlenmeyer konik flask içersine 50 gr toz kömür ve 50 gr pirit peleti katılarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kömürlerin kısa analizi aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan Tunçbilek linyiti ve Şırnak Asfaltitinin kısa analizleri.

Kömür Türü	Kül%	Nem%	Fe%	SiO2,%	Kümülatif Porosite %	Reaktivite,%
Tunçbilek Linyiti	0,7	37,4	0,33	3	2,2	16
Şırnak Asfaltiti	1,2	33,2	0,22	2	1,3	22

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan atık pirit numunelerinin kimyasal bileşimi

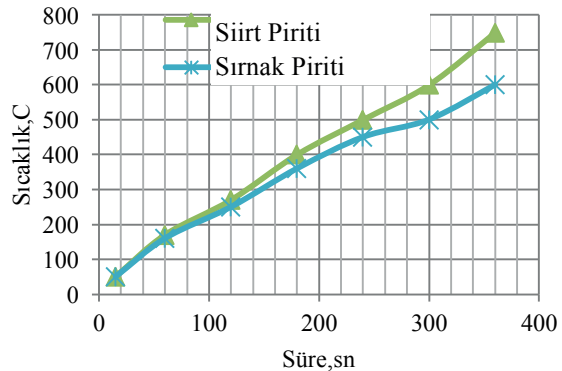
Pirit Türü	Cu%	S%	Fe%	SiO2,%	Al2O3,%
Siirt Piriti	0,7	37,4	0,33	3	16
Şırnak Piriti	1,2	33,2	0,22	2	22



Şekil 3 Etkili Mikrodalga Piroliz Cihazı

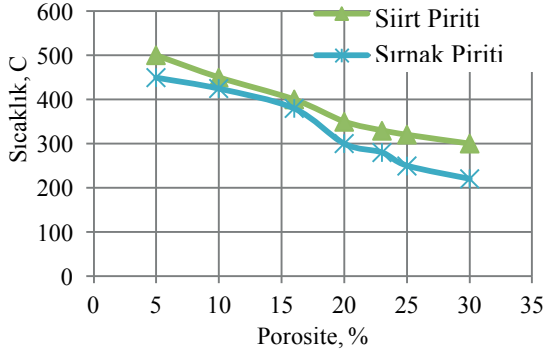
50 gr'lık -1 mm boyutundaki toz kömür Siirt bakır piriti ve Şırnak asfaltit pirit ile 75 mikron toz örneklerin 10 mm lik peletleri ile mikrodalgada piroliz işlemine tabi tutulmuştur (Marland vd.,2000).

Test sonuçları, ağırlık değişimi olarak kaydedilmiştir. Klasik piroliz sonucu elde edilen kütle kaybı baz alınarak piroliz verimleri 3-10 ve 30 dakikalık mikrodalga etkileşimle belirlenmiştir (Şekil 3).



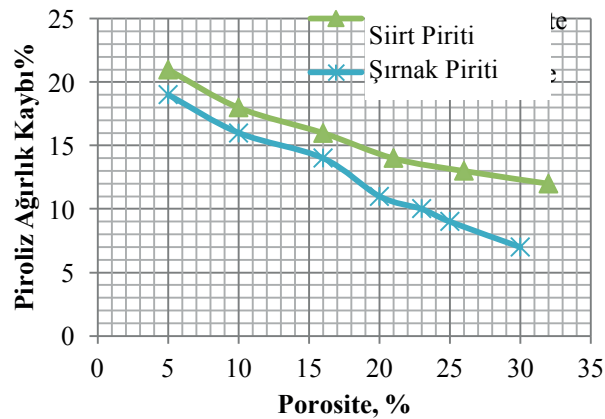
Şekil 3. Şırnak Asfaltitinin Mikrodalga Pirolizinde Yüze Sıcaklık Değişimi

5dklık süre sonunda yeterli bir sıcaklık artışı pelet yüzeyinde gözlenmiştir. Ancak Şırnak asfaltitine ısı iletimi henüz başlayabilmektedir. Porozite nin etkisi mikrodalga fırında 5dk sonrası sıcaklık değişimi olarak belirlenmiştir (Şekil 4)



Şekil 4. Şırnak Asfaltitinin Mikrodalga Piroliz Sıcaklık Değişimi

Şırnak asfaltitinin ısı iletimi porozite ile önemli derecede etkilenmiştir ve %15 in üzerindeki porozitede kısmen ısı iletimi azalmaktadır. Piroliz kütle kaybı kısmi piroliz in gerçekleşebildiğini ve gözeneğin pirolize engel olduğu gözlenmiştir (Şekil 5).

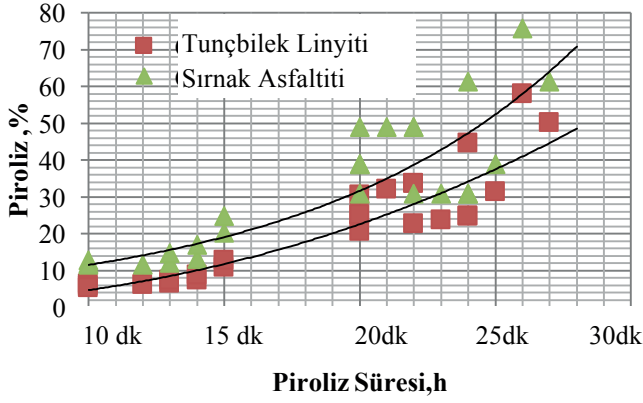


Şekil 5. Şırnak Asfaltitinin Mikrodalga Fırında Piroliz Ağırlık Değişimi (10dk mikrodalga piroliz)

### 3 BULGULAR VE İRDELEMESİ

Farklı tür kömürlerin piroliz koşulları mikrodalga ısı yayılım durumlarına ve metal bileşenlerinin dağılımına bağlı gelişebilmektedir. Optimum koşullarda elde edilen bulgular Şekil 5. 'de gösterilmektedir. Pirit Tipi böyle bir pirolizin avantajları şunlardır. İri kömür parçacıklarının ince tanelerden daha düşük bir ısıtma hızına sahip olması, dolayısıyla piroliz sırasında sıcaklık kontrolü geliştirilmesidir. Buna ek olarak,

piroliz sırasında gelişmiş kömür tozu kontrolü olacak ve mikrodalga ısıtma ve klasik piroliz ile tam piroliz için gereken spesifik enerji tüketimleri sırasıyla yaklaşık 0,18 ve 4,4 kW h/kg olmuştur. Tipik olarak, bilyalı değirmende enerji tüketimi yaklaşık 4,5 ila 9 kWh/kg arasındadır. Bu nedenle, mikrodalga piroliz ve yeniden öğütme için kombine enerji tüketimi hala geleneksel sıcaklığa kıyasla daha düşük olacaktır. Pirit ve demir cevherlerinin iki ana nedeni, karbonlu madde ve ultra-ince sülfür parçacıkları pirit ve demirli iyonların varlığı ve manyetik zayıflamanın varlığıdır. Kömür matrisinde pirotin de pirit den daha etkili sıcaklık artışına neden olabilmektedir.. Kömür maddesinde her iki sülfürün varlığına bağlı olarak daha az geçirimli olduğunda şeyl taşı, silikat, ve kil matrisi şeffaf davranmaktadır ve mikrodalgaları geçirmeden yansıtır. Cevherdeki karbonlu madde sıcaklığı absorbe eder. En önemli husus organik karbon ve kömür karbonudur. Organik karbonun bileşenleri amorf olduğundan yansıtma yapabilmektedir. Bu demir cevherleri, sülfidlerin matriksinin ısı taşıyıcı olarak değerlendirmek ve pirolizden önce karbonlu maddeyi piroliz etmek veya pasifleştirmek için ön işleme tabi tutulması yararlı olacaktır. Mikrodalga işleme yöntemleri kavurma, klorlama, basınçlı oksidasyon, kurutma, piroliz ve atıkların çözeltimesi ve gazlaştırılmasıdır. Mikrodalga fırınlar kurutma, kireçleme, kavurma ve eritme gibi bazı birim işlemlerinde cevherlerin arıtılması için alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Karbon ve metal sülfidlerin çok iyi mikrodalga emiciler olduğu bilinmektedir ve hızlı ve seçici olarak ısıtılabilirler. Bazı araştırmacılar dolaylı olarak mikrodalgalarla ısıtılan ısıyı iyileştirebilir, bu nedenle manyetit bir tutucu olarak kullanılır. Bu çalışmada, kömür numunesinin kömür piriti ve bakır pirit ile mikrodalga pirolizi incelenmiştir. Konsantre, mikrodalga ısıtma işlemine karşı oldukça duyarlıdır. Bu çalışmada, Tunçbilek linyiti ve Şırnak asfaltitinin Şekil 6'te görüldüğü gibi, kısmi pirolizi gerçekleştirebilmiştir ve bazı durumlarda da yavaş piroliz gerçekleştirmiştir.



Şekil 6. Mikrodalga Pirolizinde kütle kaybına piroliz süresinin etkisi (900W)

Şekil 6 görüldüğü gibi, Şırnak piritinin ısıyı soğuran davranışı da izlenmiştir ve piroliz hızı için optimum koşullar oluşturulurken, 50 g numunenin yüzeyi yaklaşık 500 °C 'ye erişirken, numunenin iç kısmı 600 °C 'ye erişmiştir. 10 g örnek kullanıldığında, sıcaklık yaklaşık 700 °C 'ye yükselmiştir. Genellikle, laboratuvar ölçekli mikrodalga işleme, numune sıcaklığı örnek kütlesi ile birlikte artar. Klasik fırında ısıtmanın aksine, mikrodalga sistemlerinde ısı dahili olarak üretilir ve böylece numunedeki ısı kaybı ısıtma davranışını kontrol eden önemli bir faktördür. Nispeten düşük kütleli numuneler için, yüksek yüzey alanı/hacim oranı, sıcaklık artış oranını değiştirir ve maksimum sıcaklığı sınırlar. Sonuç olarak, geçirgenlik değerleri nispeten düşüktür ve numune mikrodalga alanı ile etkili bir şekilde birleştirilemez. Diğer yandan, potanın aynı kesit alanı için, numune kütlesi arttıkça, yüzey alanının hacim oranında bir azalma olur ve içten gelen ısı kaybını azaltır ve daha yüksek hacimli bir numuneyle sıcaklık azalır. Ek olarak, numune kütlesi arttıkça, elektrik alanıyla etkileşime girmek için daha fazla malzeme vardır. Karşılaştırma amacıyla, refrakter konsantredeki sülfidlerin ve karbonlu maddelerin oksidasyonu hem mikrodalga sistemi hem de geleneksel bir direnç fırını içinde gerçekleştirilebilmektedir. Olay 900 W'lık bir mikrodalga gücünde, üretilen ısı, numunenin erimesine neden olabilmektedir ve bu nedenle 600 W'lık mikrodalga gücü daha pirolizde faydalı olacaktır. 600 W'de, sıcaklıkta aşırı yükselme olmadan kayda değer bir oksidasyon elde edilmiştir. Bununla birlikte, bazı numuneler ile sinterleme gözlenmiştir. Şekil 3'deki sonuçlar ile gösterildiği gibi piroliz işlemi yaklaşık 600 °C 'de neredeyse tamamlanır ve bu nedenle geleneksel piroliz 600 °C 'de gerçekleştirilir. Pirolizin 700 °C 'nin üzerine oluşması için, ilave pirit ağırlık olarak

katılması 700 °C'nin üstünde sıcaklık artışına neden olabilmıştır ancak piroliz ekonomik olmamıştır. Şekil 4, klasik ve mikrodalga piroliz için işleme süresinin bir fonksiyonu olarak piroliz süresinin konsantrenin karbon içeriği üzerindeki etkisini göstermektedir. Karbon içeriği, mikrodalga testlerinde konveksiyona göre daha hızlı azaldığı görülmektedir. Karbon kütleinin % 75'inden fazlası mikrodalga piroliz ile 10-30 dakika içinde uzaklaştırılabilmiştir.

Aynı miktarda karbon çıkarma işlemi saatlerce sürer. Kömür piritinin davranışı Şekil 5'de gösterilmektedir. Hem mikrodalga hem de konvansiyonel işleme için, uçtaki sıcaklık oranı muhtemelen numunedeki daha büyük demir miktarını yansıtan kömür piritinden daha yüksektir. 30 dakika sonra kükürdün % 25'i konvansiyonel kavurma ile uzaklaştırıldı, mikrodalga ısıtma için pirit kükürtünün yaklaşık % 13'ü 3 dakika sonunda çıkarıldı. Mikrodalga işlenmesinde, mükemmel mikrodalga emiciler olan kömür parçacıklarının kömür ve pirit içeriğindeki (Şekil 6) piroliz, klasik pirolizden daha yüksek sıcaklıktadır ve bu, daha yüksek piroliz oranlarına neden olur.

Bu çalışmada; Pirit atığının fizikokimyasal özellikli düşük dereceli cevher, gerçekleştirilen test sonuçlarına yer vererek, pirit atıklarının dokusal özellikleri arasındaki fark incelenerek belirlendi. Bu çalışmada Şırnak ve Siirt'deki pirit atığının değerlendirilmesi, temel nitelikler açısından potansiyel bir değerlendirilebilirlik olarak tanımlanmıştır. Pirit piroliz işleminden bu metalik pelet olarak elde edilen demir hammaddesi zengin sıcaklık attrıran ısı taşıyıcı olarak değerlendirilebilir. Özellikle mikrodalga piroliz işlemi çok ekonomiktir. Şekil 6 da görüldüğü gibi Tunçbilek linyiti poroz yapısından ötürü daha az ısı iletimi gözlenmiştir. Şırnak asfaltitinde ısı iletimi daha yüksek olmuştur. Böylelikle, piroliz daha ekonomik olarak belirlenmiştir. Refrakter mineraller mikrodalga ısıtma işleminde yansıtır. Klasik pirolizde ısı iletimi fırın malzemesi çevresi için enerji kaybedilmektedir. Mikrodalga da gereken spesifik ısı enerji sarfiyatları sırasıyla yaklaşık 0,128 ve klasik fırında ise 4,58 kW/h/kg olmuştur. Klasik pirolizde spesifik enerji değerleri daha yüksektir, çünkü mikrodalga işlemi sırasında sadece örnek ve numune taşıyıcısı ısıtılırken klasik fırında çevrenin de ısıtılması gerekir. Sülfidlerin oksidasyon reaksiyonları ekzotermiktir ve eğer ısıtma kontrol edilmemişse sinterleşme

görülebilmektedir. Mikrodalga ısıtmada, geleneksel kızdırmaya göre sıcaklık kontrol etmek daha zordur. Sonuç olarak, bazı yerel bazı camsı madde oluşmuştur ve bir miktar sinterleşme oluşmuştur. Mikrodalga radyasyonla bakır pirit ve demir cevherleri, kömür ve şeyl piritleri pirolizde yanabilmektedir. Test sonuçları sürekli bir kütle kaybı olduğunu ve toplam kütle kaybı % 12 olduğunu göstermiştir. Kömür pirolizinde % 10'un üzerinde büyük kütle kaybı 400 °C ve 600 °C arasında gerçekleşmiştir. Gerçek ve göreceli geçirimsizlik çok yüksek frekansın gücü düşürüldükçe önemli ölçüde etkili olmuştur. 400 °C 'nin ötesinde, permitivite azaldı ve bu, piritin çoğunun absorpsiyonundan kaynaklanmıştır. Bakır pirit daha hızla mikrodalga ısınmayı sağlamıştır. 30 dk boyunca mikrodalga ısıtmadan sonra 50 gr'lık bir numuneyle 600 °C 'nin üzerindeki sıcaklıklar elde edilebilmiştir. Mikrodalga pirolizi için, gözenekliliğe ve spesifik enerji tüketimine bağlı olarak hem ısıtma hızı hem de piroliz oranları daha yüksektir. Şırnak asfaltinin piroliz işlemlerinde, asfaltin pirit içeriği, reaksiyona giren amorf karbon maddenin başarılı bir ölçüde kütle kaybında kolaylıkla etkili olmuştur. Mikrodalga ısıtmada meydana getirilen yüksek sıcaklıklar nedeniyle taşıyıcının kesitleri sinterleşmiş, mikrodalga fırında tamamlanan yaklaşık % 65 pirit oksitleme piroliz işleminde gerçekleşmiştir. Mikrodalgada ısınma davranışının incelenmesi için, mikrodalga gücü artan, işleme süresi ve numune kütlesi. Değiştirilmiştir. Demir maddesinin mikrodalgalara aşırı tepki vermesi nedeniyle, daha yüksek güçler sinterleme ve konsantrinin erimesine neden olurken, 600W'lık düşük bir mikrodalga gücü piroliz için uygun bulunmuştur. Piroliz sonrası Siirt pirit değerleri ile pirolizde kütle kaybı yaklaşık % 25'in üzerine çıkmıştır. Bu değerler klasik pirolizdeki değerlere benzer elde edilmiştir.

Hem mikrodalga hem de konvansiyonel işleme için, uçtaki sıcaklık oranı muhtemelen numunedeki daha büyük demir miktarını yansıtan kömür piritinden daha yüksektir. 30 dakika sonra kükürdün % 85'i konvansiyonel kavurma ile uzaklaştırıldı, mikrodalga ısıtma için pirit kükürtünün yaklaşık % 65'i 3 dakika sonunda çıkarıldı. Mikrodalga kömür piroliz işlenmesinde, mükemmel mikrodalga emiciler olan kömür parçacıklarının kömür ve pirit içeriği etkili olmuştur (Şekil 6). Mikrodalga pirolizde sıcaklık kontrolü zordur ve klasik pirolizden daha yüksek

sıcaklıktadır ve bu, daha yüksek piroliz oranlarına neden olur. Tüm rakamlar, yüksek çözünürlüklü olmalıdır (300 dpi) . Grafikler (örneğin, aşağıda Şekil 1), çizgi çizimleri, fotoğraflar ve diğer illüstrasyonlar içeren şekiller renk olarak tercih edilir. Rakamların ard arda Arap rakamlarıyla (1, 2, 3 vb.) Numaralandırılması ve ilgili metne olabildiğince yakın yerleştirilmesi gerekir. Metinde rakamın göreceli konumu değil rakamına bakın. Şekil 7 Mikrodalga Kavurma sırasında permitivite kaybı gözeneklilik etkisi Şekil 8. Mikrodalga Kavurma permitivite kaybı gözeneklilik etkisi Tüm rakamlar ve tablolar ardışık Arapça rakamlarla (1, 2, 3 vb numaralandırılmış olmalıdır ve ilgili metne olabildiğince yakın yerleştirilir . Metinde rakamın göreceli konumu değil rakamına bakın.

Bu çalışmada; Pirit atığının fizikokimyasal özellikli düşük dereceli cevher, gerçekleştirilen test sonuçlarına yer vererek, pirit atıklarının dokusal özellikleri arasındaki fark incelenerek belirlendi. Bu çalışmada Ergani ve Siirt'deki bakır konsantrat atığının değerlendirilmesi, temel nitelikler açısından potansiyel bir değerlendirilebilirlik olarak tanımlanmıştır. Pirit külü kavurma işleminden bu metalik değerlerle ?? elde ettikten sonra elde edilen demir hammaddesi zengin ürün olarak değerlendirilebilir. Özellikle mikrodalga kavurma işlemi ile çok ekonomiktir. Şekil 6, akış şemasına göre toplu konsantre akış şemasına göre cevherden elde edilmiştir. 700 °C Kavruktan sonra elde edilen külü oksitleyici asidik oksitleme ve mikrodalga yıkama ile RA'da bulunan Co, Cu, Au ve Ag yüksek ekonomik olarak toparlanmıştır. Demir içeriği de daha yüksek olacaktır.

Şekil 9 Mikrodalga pirolizi için, gözenekliliğe ve spesifik enerji tüketimine bağlı olarak hem ısıtma hızı hem de piroliz oranları daha yüksektir Geleneksel piroliz için ilgili değerlerin altındadır. Kızartma ve piroliz işlemlerinde, pirit içeriği, reaksiyona giren maddenin başarılı bir miktarda kolaylıkla etkili olmuştur. Mikrodalga ısıtmada meydana getirilen yüksek sıcaklıklar nedeniyle taşıyıcının kesitleri sinterlenmiş, mikrodalga fırında tamamlanan yaklaşık % 65 pirit oksitleme kavurma işlemi gerçekleştirilmiştir.

## 4 SONUÇLAR

Testlerde piritin yüksek sıcaklıklara çıkararak pirolizi sağladığı ancak kömür türüne göre mikrodalga etkisi altında ısı iletimini farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Bu çalışmada, Ergani bakır konsantratörü ve Siirt'teki atık değerlendirme, temel nitelikler açısından potansiyel ısı iletici olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir.

Şırnak ve Siirt Pirit külünün değerlendirilmesi basit bir band akışı ile sağlanabilecektir. Refrakter madde mikrodalga pirolizinde en az miktarda içerilmelidir. Mikrodalga ve klasik fırında konveksiyon yoluyla ısı oksidasyonun sağladığı ısı iletim için gereken spesifik enerji sarfiyatları sırasıyla yaklaşık 0,128 ve 4,58 kWh/kg olmuştur. Geleneksel pirolizde, spesifik enerji değerleri daha yüksektir, çünkü mikrodalga işlemi sırasında sadece örnek ve numune taşıyıcısı ısıtılırken çevrenin de ısıtılması gerekir. Mikrodalga ısıtmada, geleneksel kızdırmaya göre sıcaklık kontrol etmek daha zordur. Mikrodalga radyasyonla bakır pirit ve demir cevherleri, kömür ve şeyl pirolizde ısı iletiminde faydalı absorbans sağlamıştır. Tunçbilek linyiti için toplam 10 dk lık bir süre sonunda kütle kaybı %12 ye ulaştığı belirlenmiştir. Kömür pirolizinde % 10'un üzerinde toplam kütle kaybı 400 °C ve 600 °C arasında gerçekleşmiştir. Daha az frekans gücünde 600W düşürüldüğünde önemli ölçüde piroliz gerçekleşebilmiştir. Bakır piriti mikrodalgada daha hızlı ısınmayı sağlamıştır. Piroliz sonrası 50 gr'lık bir numuneyle 600 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kısa süreli piroliz sağlanabilmiştir.

Mikrodalga ısıtma davranış çalışmaları, mikrodalga gücü artan, işleme süresi ve numune kütlesi pirolizi ve kütle kaybında etkili kontrol parametreleri olmuştur ve 600W'lık düşük bir mikrodalga gücü piroliz için yararlı bulunmuştur.

## KAYNAKLAR

Amankwah, R.K., Pickles, C.A., 2005. Microwave calcination and sintering of manganese carbonate ore. *Canadian Metallurgical Quarterly* 44 (2), 239–248.

Amankwah, R.K., Pickles, C.A., Yen, W.T., 2005b. Gold recovery by microwave augmented ashing of waste activated carbon. *Minerals Engineering* 18 (2), 517–526.

Anonim a, 2016, *Tekfen İnşaat Şirket* web sayfası, <http://www.tekfeninsaat.com.tr>

Anonim b, 2016, *Gayret Makina Şirket* web sayfası, <http://www.gayretmakina.com.tr>

Anonim c, 2016, *Multotec Şirket* web sayfası, <http://www.multotec.com/category/industry/coal>

Anonim d, 2016, *MBE Şirket* web sayfası, <http://www.mbe-cmt.com/en/products/pneufлот%С2%AE/pneufлот%С2%AE>

Anonim e, 2016, *SCHAUENBURG Şirket* web sayfası, [http://www.schauenburg-aka.com/index\\_e.html](http://www.schauenburg-aka.com/index_e.html)

Anonim f, 2016, *CWP Şirket* web sayfası, <http://cwp.com.tr/en/products.aspx?id=30>

Ateşok, G., 1986, *Kömür Hazırlama*, Kurtuluş Matbaası, İstanbul

Chen TT, Dutrizac JE, Haque KE, Wyslouzil W, Kashyap S. 1984, The relative transparency of minerals to microwave radiation. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 123, 3, s. 349–51.

Datta A K; Nelson S O (2000). Fundamental Physical Aspects of Microwave Absorption and Heating in *Handbook of Microwave Technology for Food Applications*. CHIPS Publications, USA

Datta A K; Sun E; Solis A (1995). Food dielectric property data and their composition-based prediction. In: *Engineering Properties of Foods* (Rao M A; Rizvi S S, eds), Chapter 9, 457–494. Marcel Dekker, Inc., New York

Decareau R V (1985). *Microwaves in the Food Processing Industry*. Academic Press, Orlando, FL, USA

DPT, 2013, *Madencilik*, 9 Kalkınma Özel İhtisas Raporu.

El-Shami S M; Selim I Z; El-Anwar I M; Hassan M M (1992). Dielectric properties for monitoring the quality of heated oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCS)*, 69(9), 872–875

Gabriel C., Gabriel S., Grant E.H., Halstead B.S.J., Mingos D.M.P., 1998, Dielectric parameters relevant to microwave dielectric heating. *Chemical Society Reviews*, 27, s.213–23.

Haque KE. Microwave energy for mineral treatment processes—a brief review, 1999, *International Journal of Mineral Processing*, 57, 1, s.1–24.

Hutcheon, R.M., De Jong, M.S., Adams, F.P., 1992. A system for rapid measurement of RF and microwave properties up to 1400 °C. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 27 (2), 87–92.

- Hutcheon, R.M., De Jong, M.S., Adams, F.P., Lucuta, P.G., McGregor, J.E., Bahen, L., 1992a. RF and microwave dielectric measurements to 1400 °C and dielectric loss mechanisms. In: *Materials Research Society Symposium Proceedings (Microwave Processing of Materials III)*, vol. 269, pp. 541–551.
- Hutcheon, R.M., Hayward, P., Smith, B.H., Alexander, S.B., 1995. High-temperature dielectric constant measurement – another analytical tool for ceramic studies. *Microwaves: Theory and Application in Materials Processing III*, vol. 59. *Ceramic Transactions*, American Ceramic Society, pp. 235–241.
- Jacob J., Chia L.H.L., Boey F.Y.C., 1995, Review—thermal and non-thermal interaction of microwave radiation with materials. *Journal of Materials Science*, 30, 21, s.5321–7.
- Karmazsin, E., 1987. Use of low – and high-power microwave energy for thermal analysis. *Thermochimica Acta* , 110, 289–295.
- Kelly RM, Rowson NA., 1995, Microwave reduction of oxidised ilmenite concentrates. *Minerals Engineering*, 8, 11, s.1427–38.
- Kemal, M., Arslan, V., 1999. *Kömür Teknolojisi*, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İZMİR, 975-441-142-5
- Kemal. M., İpekoğlu, Ü. 1985, Türkiye'nin Yakacak Gereksinimi ve Çözüm Olanakları, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi*, T.M.M.O.B. Maden Mühendisleri Odası, Ankara
- Kılıç Ö., 2009, Mikrodalga ile Isıl İşlem Uygulamanın Kireçtaşı Kalsinasyonuna Etkisi, *Madencilik*, 48, 3, s 45-53.
- Kingman S.W., Vorster W., Rowson N.A., 1999, The influence of mineralogy on microwave assisted grinding. *Minerals Engineering*, 3,3, s.313–27.
- Kural, O., 1999, *Kömür*,
- Kuyucak, S., Türkiye'nin Pirit Külü Kaynaklarının Demir ve Demir Dışı Metaller Yönünden Değerlendirilmesi, MTA Teknoloji Dairesi, Araştırma Raporu 1, Ankara, Nisan 1977
- Lu, T., Pickles, C.A., Kelebek, S., 2007. Microwave heating behaviour of a gibbsite type bauxite ore. In: Bekguleryuz, M.O., Paray, F., Wells, M. (Eds.), *Proceedings of Symposium on Light Metals in Transport Applications. MetSoc (CIM)*, Toronto, Ont. Canada, pp. 421–449 (August 25–30).
- Ma, J., Pickles, C.A., 2003. Microwave segregation process for nickeliferous silicate laterites. *Canadian Metallurgical Quarterly* 42 (3), 313–326.
- Marland S, Han B, Merchant A, Rowson N., 2000, The effect of microwave radiation on coal grindability. *Fuel*, 79, 11, s.1283–8.
- Metaxas, A.C., Meredith, R.J., 1983. *Industrial Microwave Heating*. Chapter 10, Peter Peregrinus, London, UK.
- Salsman J.B., Williamson R.L., Tolley W.K., Rice D.A., 1996, Short-pulse microwave treatment of disseminated sulphide ores. *Minerals Engineering*, 9, 1, s.43–54.
- Siirt Madenköy Fizibilite Etudu, MTA, Ankara, 1981
- Standish, N., Worner, H.K., Gupta, G., 1990. Temperature distribution in microwave heated iron ore–carbon composites. *J. Microwave Power Electromagnet Energy* 25 \_2., 75–80.
- Standish, N., Worner, H.K., Obuchowski, D.Y., 1991. Particle size effect in microwave heating of granular materials. *Powder Technology* 66, 225–230.
- VanWyk EJ, Bradshaw SM, de Swardt JB., 1998 The dependence of microwave regeneration of activated carbon on time and temperature, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* ,33, 3, s.151–7.
- Veasey TJ, Fitzgibbon KE., 1990, Thermally assisted liberation—a review. *Minerals Engineering* , 3, 1/2, s.181–5.
- Walkiewicz J.W., Clark A.E., McGill S.L., 1991, Microwave assisted grinding. *IEEE Transactions on Industry Applications* ,27, 2, s.239–43.
- Walkiewicz JW, Kazonich G, McGill SL., 1988, Microwave heating characteristics of selected minerals and compounds. *Minerals and Metallurgical Processing* , 5, 1, s.39–42.
- Xia D.K., Pickles C.A., 2000, Microwave caustic leaching of electric arc furnace dust, *Minerals Engineering*, 13, 1, s.79–94.

# Metalürjik Kok Üretiminde Katkı Malzemesi Olarak Yüksek Fırın Çamurunun(YFÇ) Kullanım İmkanının Araştırılması *Investigation of Usage of Blast Furnace Sludge (BFS) as Additive Material in Metallurgical Coke Production*

F.Parlak

*Ereğli Demir ve Çelik Fab. T.A.Ş Arge Direkt., Kdz.Ereğli*

B. Büyükünäl

*İskenderun Demir ve Çelik Fab. Kok Fabrikalar Müd., İskenderun*

T. Pamuksuz

*Ereğli Demir ve Çelik Fab. T.A.Ş Lab. Müd.,Kdz.Ereğli*

S.A. Çal

*İskenderun Demir ve Çelik Fab. Lab. Müd.,İskenderun*

K. Akgün

*Ereğli Demir ve Çelik Fab. T.A.Ş Arge Direkt., Kdz.Ereğli*

C. Erarslan, E.Yıldız

*Ereğli Demir ve Çelik Fab. T.A.Ş Lab. Müd.,Kdz.Ereğli*

**ÖZET** Dünya genelinde koklaşabilir (metalürjik) kömür rezervleri günden güne azalmakta ve üretim maliyetlerinden dolayı fiyatları artmaktadır. Koklaşma prosesinde metalürjik kömür harmanlarına çeşitli katkı malzemeleri ilavesiyle aynı kalitede ama daha ucuz kok elde etme yöntemlerinin araştırılması önem kazanmıştır. Metalürjik kokun yüksek fırınlarda 3 temel görevi vardır: demirin indirgenmesi, endotermik reaksiyonlar için ısı sağlaması ve fırın içi gaz geçirgenliğini bozmadan fırının demirli malzeme yükünün askıda tutulmasıdır. Bu üç ana görev nedeniyle kokun alternatifi yoktur. YFÇ bünyesinde %35-40 oranında karbon bulundurmaktadır. YFÇ'nu kömür harmanına ilave ederek kokun kalite parametreleri CSR, CRI, Sertlik ve Stabilite değerlerine etkileri incelenmiştir. %0,5-5 aralığın da YFÇ ilavesi ile denemeler yapılmıştır. %1'den fazla YFÇ kullanımı CSR değerlerin de dramatik düşüöşlere ve CRI değerlerinde aşırı artışlara neden olmuştur. Buna karşın stabilite ve sertlik değerlerindeki düşüöşler en fazla % 6-7 civarında gerçekleşmiştir. %0,5-0,75-1 oranlarında kullanılan YFÇ için CRI 'da 3,91-5,56-7,32 puan artış ve CSR'de 6,25-12,59-13,78 puan azalma gözlemlenmiştir. Stabilite ve sertlik değerlerindeki değişimler 1 puanın altındadır.

**ABSTRACT** Global coking (metallurgical) coal reserves decrease day by day and increase its price due to the production cost. It has become important to investigate methods of obtaining cheaper coke at the same quality as the addition of various additive materials to metallurgical coal blends in the coking process. Metallurgical coke has three main task in the BF such as reduction of iron oxide, source(supply) of heat for endothermic reaction and iron burden of BF bear with no interrupting the gas permeability of the furnace. BFS has 35-40 % carbon content. CSR, CRI, Stability and Hardness have been examined by adding BFS into coal blend. Tests have been carried out in the range of 0,5- 5% with BFS addition. More than 1% usage of BFS has resulted in dramatic decreases in CSR values and excessive increases in CRI values. However, stability and hardness values has decreased about 6-7%. When the BFS used 0,5-0,75-1 % respectively, CRI values increased 3,91-5,56-7,32 % respectively and CSR decreased 6,25-12,59-13,78 respectively. Changes in stability and hardness values were less than 1 point.



# 1 GİRİŞ

## 1.1 Tanıtım

Kömür, tortul kayalarla kaplanmış ve inorganik maddelerin arasına küçük miktarlarda serpiştirilmiş, muma benzeyen bitki kalıntılarının kompakt tabakalı kütleleri olarak tanımlanabilir. Bir kömürün derecesi (Coal rank) turbadan antrasite bir seri fosil yakıtların içinde ki kömürün kimyasal kompozisyon değişiminin derecesi olarak adlandırılabilir. [1]

Kömür rezervleri birçok ülkede bulunmasına rağmen dünya kömür rezervlerinin %75'i beş ülkede bulunmaktadır. Bu ülkelerin payları % 29,1 ABD, %17,6 Rusya, % 12,8 Çin, % 8,6 Avustralya ve % 6,8 Hindistan'dır. Ülkeler bazında incelendiğinde 2014 yılında Çin 3,75 milyar ton üretimiyle dünya kömür üretiminin %52'sini tek başına gerçekleştirmiştir. Diğer kömür üreticilerinden; ABD %11,7'sini, Hindistan %8,6'sını, Avustralya %6'sını, Endonezya %6,5'ini, Güney Afrika Cumhuriyeti %3,5'ini, Rusya %3,7'sini gerçekleştirmiştir. Bu 7 ülke Dünya kömür üretiminin %92'sini gerçekleştirmektedir.[2]

Demir-Çelik sanayisinde kullanılan, dünya da ki koklaşabilir özellikteki taşkömürü(bitümlü kömür) üretimi 2014 yılında 1064,8 milyon tondur. Bunun 567,9 milyon tonunu %53,3 ile Çin tek başına gerçekleştirmiştir. Avustralya %17,4, Rusya %7, ABD %7, Hindistan %4,8 payları ile dünya koklaşabilir kömür üretimlerindeki önemli ülkelerdir.[2]

2014 Dünya koklaşabilir taşkömürü tüketiminin % 0,69'u ülkemizde gerçekleşmektedir. Çin 629,5 milyon ton koklaşabilir kömür tüketimiyle %60,99 en önemli tüketici pozisyonundadır. Hindistan %9,8, Japonya %4,9 ve Rusya %5,3 payları ile önemli koklaşabilir kömür tüketicisi ülkelerdir.[2]

Kömür havasız bir ortamda endirekt ısıtıldığında bünyesinde bulunan uçucularını serbest bırakır. Isıtma esnasında bünyedeki gazlı maddeler ile kararsız moleküller ayrışır. Kömürün ısıl ayrıştırılmasının nihai katı ürününe kok adı verilir. İyi bir koklaşma için elverişli bitümlü kömürler diğer kömürlere göre dünya üzerinde daha az miktardadırlar.[3]

Metalurjik kokun bütün özellikleri az veya çok koklaşabilir kömürün yapısıyla ilintilidir. Ayrıca kömürün kekleşme özellikleri kokun mukavemetini etkilemektedir. Kömür ısıtıldığı zaman yoğunlaşabilen bir gaz meydana getirir ve neredeyse tamamen karbondan oluşan katı bir kütle meydana getirir, bu kütle kimyasal değişime uğrar. Kömürün derecesine bağlı olarak 350-500 °C sıcaklık aralığında koklaşabilen kömür yumuşar, plastik hale gelir ve şişer daha sonra katılaştır, gözenekli bir şekil alır.

Bu dönüşümlerin yaşandığı 2 önemli sıcaklık bölgesi dikkat çekmektedir. Birincisi kömürün plastik hale geldiği sıcaklık, ikincisi yeniden katılaşmış malzemenin büzüldüğü daha yüksek sıcaklıktır. Yüksek uçuculu ve plastikleşme özelliği olan bir kömürle gerçekleşen kuvvetli büzülme ve yeniden katılaşma kokta düşük mekanik mukavemetleri ortaya çıkarabilir. Bunun temel sebebi kokun içerisinde çatlakların meydana gelmesidir. Bu sebepten kok mukavemeti çatlak gelişimi, gözenek boyutu ve dağılımı, hücre duvarının dayanımı, parçacıkların aglomerasyonu (topaklanması) ile yakından ilişkidir.[4]

Yüksek Fırın Çamuru(YFC) pik demirin üretimi esnasında ortaya çıkar ve açık sahalarda depolanır. Avrupa verilerine göre, yüksek fırın tepe gazı yaklaşık 30kg toz/ ton pik demir içermektedir. Baca gazı toz yakalayıcı ve santrifüjlü seperatörde ön kuru temizleme işlemine tabi tutulur sonra baca gazı yıkayıcıları ile bunu yıkama işlemi takip eder. Yıkama suyu, parçacıkların sedimentasyon yoluyla sudan ayrıldığı durultma havuzlarına pompalanır. Kalan çamurlu atık yüksek fırın çamuru olarak adlandırılır. Çelik Endüstrisi günümüz Avrupa'sında 500.000 ton/yıl ve Almanyada 130.000 ton/yıl YFC üretmektedir.[5] Erdemir de bu oran 23.000 ton/yıl, İsdemir de 41.000 ton/yıl dır.

Yüksek fırının şarj malzemeleri demir cevheri, metalürjik kok ve flux malzemeleridir. Sodyum (Na), Potasyum (K) ve Çinko (Zn) hem demir cevheri hem de kok külü ile yüksek fırına girer. Bunlar fırının alt bölgesinde yüksek sıcaklıklarda elementel buhara kısmı olarak indirgenirler ve sonrasında düşük sıcaklıklarda fırın duvarlarının üzerinde kondense olurlar. Bu işlem bir döngü içinde gerçekleşir ve yüksek fırın içinde Na, K ve Zn bileşiklerinin toplanmasına neden olur. Bahsedilen bileşikler yüksek fırın duvarlarında katı bir forma sahip oldukları için yüksek fırın işletmesine zarar verirler. Bundan dolayı adı geçen bu elementlerin yüksek fırına girişleri en aza indirilmelidir. Buharlaştırılmış Na, K, Zn kısmı olarak tepe gazıyla fırından atılır. YFÇ içerisinde bu elementler bolca bulunmaktadır ve bu sebeple geri dönüşüm/yeniden değerlendirilme işlemlerine tabi tutulabilirler. Yüksek fırın çamuru hali hazırda bir endüstriyel atık olarak kabul edilmektedir.[6]

Kokun reaktifliğini, gözenekler fiziksel olarak, karbon yapısı ve mineral maddeler kimyasal olarak etkilerler. Gözenekli karbon matris oksitleyici gazların kokla reaksiyonundan etkilenir. Yüksek Fırın içerisinde kok alçılırken onun kimyasal yapısının değişmesi beklenen bir durumdur. Büyüme ve birleşme ile gözenek yapısının değişimi; artan/azalan mevcut yüzey alanı, gözenek yapısında ve dağılımındaki değişiklikler ve gazın difüzyonu kokun reaktifliğinde değişimlere neden olur.

Kömürlerin koklaşma özellikleri kokun gözenekli yapısını belirleyicidir, özellikle maksimum akışkanlık ve serbest şişme numarası bu özellikleri kontrol eder. [7]

Isıl işlem ile inorganik maddenin dönüşümü, kimyasal bağlanma, sinterleme, ergime ve buharlaştırmanın yansıra organik madde ile karşılıklı etkileşimleri de içerir. Karbonlu malzemelerin reaktivitesinde katalitik etkilere ilave olarak, mineral madde çar'in termal davranışına nüfuz eder ayrıca mineral maddenin agregasyonu ve parçacık boyutu karbonlu materyalin parçalanmasını ve mekanik stabilitesini etkiler. Herman, kokun reaktifliği üzerine kömür külü bileşenlerinin etkisini incelemiş ve CaO ve SO<sub>3</sub> gazlaşmayı başlatmak için uyarıcı, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ara bir etki, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-TiO<sub>2</sub>-MgO ise gazlaştırmayı engelleyici şekilde davrandığı sonucuna varmıştır. [8]

Feng ve arkadaşları bitümlü kömürün gazlaşması sırasında demirin başlıca katalizör olduğunu ayrıca demir/karbon ara yüzünün etrafındaki karbonun düzenli kristal yapılar meydana getirdiğini gözlemlemişlerdir. [9]

Yakıt tüketimin artmasıyla, mineral maddeler oksitleyici gazlar için bir bariyer oluşturur, bu nedenle engelleyici(kısıtlayıcı) etkiye sahip olabilirler ve karbon reaktifliğini etkileyebilirler. [10]

Kok ve kömür demir çelik sektörü için çok değerli iki kalemdir. Bu kalemlerde elde edilecek en ufak karlar ve maliyet azaltımı şirketler için önemli kazançlar sağlamaktadır. Dünya üzerinde koklaştırma için birçok deneme ve araştırmalar yapılmaktadır. Bilindiği gibi koklaştırmanın temel esası karbonlu malzemeleri havasız ortamda koklaştırarak yüksek fırınların kullanabileceği metalürjik koku üretmektir. Dünya üzerinde koklaşabilir kömür oranı günden güne azalmakta ve pahalılaşmaktadır. Koklaşabilir kömürlerin yanına çeşitli katkı malzemeleri ilavesiyle aynı kalitede ama daha ucuz kok elde etme yöntemlerinin araştırılması önem kazanmıştır. Bilindiği üzere yüksek fırın çamuru içeriğinde ki karbon içeriği ile araştırmaya değer bir endüstriyel atık olarak önümüzde durmaktadır. Bu çalışmada YFÇ'nin kömür harmanlarında bir katkı malzemesi olarak kullanılabilir olup olmadığı araştırılmıştır.

## 2 MALZEME VE YÖNTEM

Deneylerimizde kullanılan bütün düşük (DU), orta (OU), yüksek uçuculu (YU) kömürler ve yüksek fırın çamurları (YFÇ) ERDEMİR ve İSDEMİR'in kendi bünyesinden temin edilmiştir.

Koklaştırma deneylerimiz hem ERDEMİR hemde İSDEMİR'de Carbolite marka Pilot kok test fırınlarında gerçekleştirilmiştir.

### 2.1 Malzemeler

#### 2.1.1 Koklaşabilir kömür harmanları

Koklaşabilir kömür harmanları için belirlenen baz harman oranları ERDEMİR için; YU-1 %35, DU %30, OU %30 YU-2 %5. İSDEMİR için; DU %25, OU %30, OU %10, YU-1 %20, YU-2 %10, YU-3 %5 olarak belirlenmiştir.

### 2.1.2 Yüksek fırın çamurları

Denemeler için kullanılan YFÇ ERDEMİR ve İSDEMİR deki çamur havuzlarından ayrı ayrı alınarak 105 °C'lik etüv de 3 saat kurutulmuştur.

Koklaşabilir kömür harmanlarına ilave edilecek YFÇ için belirlenen oranlar ERDEMİR için; % 1-3-5 ve İSDEMİR için; %0,5-0,75-1 olmuştur.

Çizelge.1 ERDEMİR-İSDEMİR YFÇ kimyasal analiz sonuçları.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>T</sub>	S	P	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	C
ERDEMİR	8.65	3.17	32.04	0.58	0.06	2.75	1.78	0.33	0.55	35.04
İSDEMİR	8.40	2.30	34.44	0.62	0.09	2.45	1.01	0.07	0.12	36.76

F<sub>T</sub>: Toplam Demir miktarı

## 2.2 Yöntem

Koklaşabilir kömür harmanlarında kullanılan kömürlerin %90'ı 3mm altında olacak şekilde kırılmıştır. Her deneme için bu işlem tekrarlanarak kömürler CARBOLITE marka kok test fırınına şarj edilmiştir.

Şarj malzemesi olan kömür harmanları kok test fırınına 880 °C'de yüklenmiştir, 15 °C/saat ısıtma hızı ile 18 saatte koklaşma tamamlanmıştır. Test sonu fırın sıcaklığı yaklaşık 1150°C olmuştur. Koklaşan kömür harmanı deşarj edilmiş ve su ile soğutularak kokların CSR, CRI, stabilite ve sertlik testleri yapılmıştır. ERDEMİR kok test fırınında denemeleri yapılan kömür harmanının oranları(miktarları) ERDEMİR kok bataryalarının o gün kullandığı güncel kömür harmanının birebir aynısı seçilmiştir. İSDEMİR'de kullanılan kömür ve harman oranları da İSDEMİR kok bataryalarında kullanılan harman oranlarına göre seçilmiştir. Çizelge.2 ve Çizelge.3 de bu oranlar gösterilmektedir.

Çizelge.2 ERDEMİR kömür harman modeli ve oranları

	YU-1 %	DU %	OU %	YU-2 %	YFÇ (%)
TEST 1	35	30	30	5	0
TEST 2	34	30	30	5	1
TEST 3	32	30	30	5	3
TEST 4	30	30	30	5	5

Çizelge.3 İSDEMİR kömür harman modeli ve oranları

	DU %	OU %	YU-1 %	YU-2 %	YU-3 %	YÜKSEK FIRIN ÇAMURU (%)
TEST 1	25	30	10	20	10	5
TEST 2	25	30	10	20	10	4,5
TEST 3	25	30	10	20	10	4,25
TEST 4	25	30	10	20	10	4

## 3 DENEYLER

### 3.1 ERDEMİR'de Gerçekleşen Denemeler

Erdemirde yapılan denemelerde YFÇ'nin kömür harmanlarına ilave edilmesi sonucunda, üretilecek metalurjik kokun kalite parametreleri incelenmiştir. Baz harmanda bulunan yüksek uçuculu kömürün belli oranlarda azaltılması buna karşılık aynı oranda YFÇ ilave edilmesiyle denemeler tamamlanmıştır. Bu deneme programı daha önce Çizelge.2'de verilmiştir.

Kömür harmanlarındaki % YFÇ artışına paralel olarak alkali indeksi değerinde gözle görülür bir yükseliş tespit edilmektedir bu artış Çizelge.5 ve Şekil.1'de ki kok külü analizlerinden tespit edilmiştir. Kömür ve kok kül bileşenlerinden hesaplanan alkali indeksi; kok kalitesindeki değişimleri açıklamak için kullanılan önemli bir parametredir. Alkali indeksindeki artış kok kalite parametrelerinden CRI ve CSR negatif yönden etkilemektedir. Alkali indeksinin hesabı aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$\text{Alkali İndeksi} = \frac{(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)}$$

Çizelge.4 ERDEMİR Harman Kömürlerinin Kül Bileşenleri

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Baz Harman 1	55,3	27,75	6,49	0,95	0,13	3,35	0,97	0,535	1,23
Harman 2	54	26,65	9,78	0,85	0,13	2,76	0,97	0,577	1,16
Harman 3	47,6	23,91	18,62	0,87	0,13	2,89	1,21	0,662	1,06
Harman 4	46	22,74	22,41	0,57	0,12	2,72	1,15	0,659	0,97



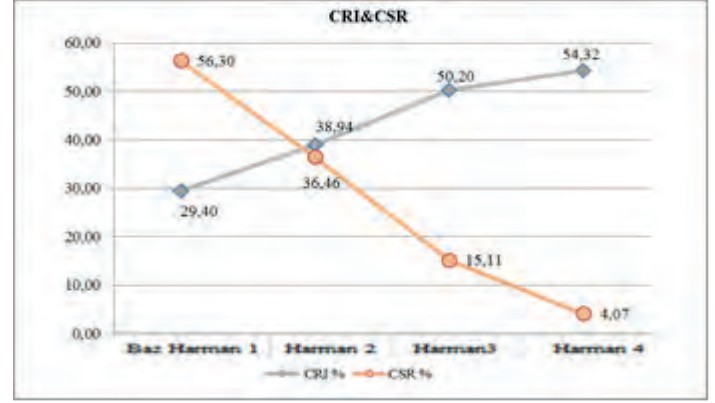
Şeki.1 ERDEMİR Harman kömürlerinin alkali değişimleri

Alkali indeksini artıran en önemli bileşenin Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Demir III oksit) tür. Kokun reaktifliği üzerine kömür külü bileşenlerinin etkisini bakıldığında CaO ve SO<sub>3</sub> gazlaşma reaksiyonların başlatırken öncü role sahiptirler, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reaksiyonda katalitik davranış sergilerken, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-TiO<sub>2</sub>-MgO ise gazlaşma reaksiyonunu engelleyici bir davranışta bulunurlar [8]. Bunun yanı sıra MgO, N<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O da ufak artışlar tespit edilmiştir.

Çizelge.5 ve Şekil.2'nin ışığında kömür harmanlarına %1'den yüksek oranlarda YFC eklenmesi üretilen metalürjik kokun CSR ve CRI değerlerini kötü yönde etkilemiştir. Bu kalitedeki kokların yüksek fırın prosesi göz önüne alındığında kullanılması ekonomik açıdan uygun gözükmemektedir. Bu sebeple koklaşabilir kömür harmanlarına katkı maddesi (additive material) olarak eklenebilecek YFC miktarı %1 geçmemelidir.

Çizelge.5 ERDEMİR Alkali İndeksi - CRI & CSR sonuçları

	CRI	CSR	Alkali İndeksi
Baz Harman 1	29,40	56,30	0,151
Harman 2	38,94	36,46	0,189
Harman 3	50,20	15,11	0,342
Harman 4	54,32	4,07	0,406



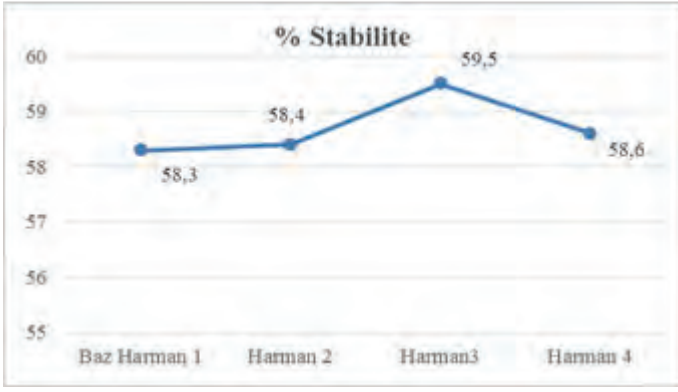
Şekil.2 ERDEMİR CRI ve CSR değişimi

YFC' nin stabilite ve sertliğe etkisi incelendiğinde bu malzemenin kömür harmanında %1 oranında kullanıldığında metalürjik kokun stabilite ve sertlik değerinin iyileştiği, %3-5 oranlarında kullanıldığında ise kötüleştiği görülmüştür.

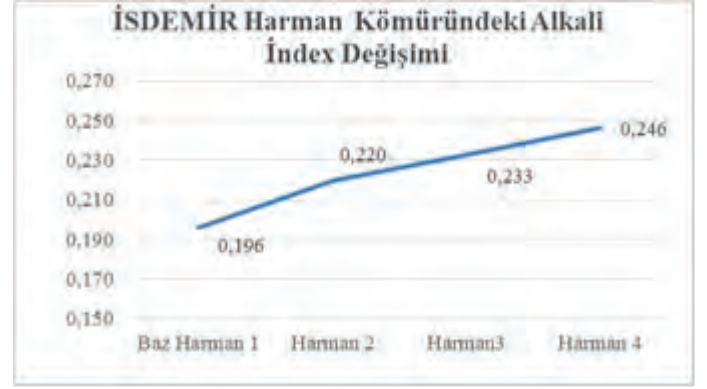
YFC' nin kömür harmanına ilave edilmesiyle CRI ve CSR' de olduğu gibi, metalürjik kokun stabilite ve sertlik değerlerinde ki değişimlerinde en baskın faktörün Demir (III) oksit olduğu görülmektedir.

Çizelge.6 ERDEMİR Alkali indeksi- Stabilite ve Sertlik sonuçları

	Stabilite	Sertlik	Alkali İndeksi
Baz Harman 1	60,53	63,29	0,151
Harman 2	61,44	64,46	0,189
Harman 3	55,94	59,23	0,342
Harman 4	54,17	56,79	0,406



Şekil.3 ERDEMİR Stabilite değişimi



Şekil.4 İSDEMİR Harman Kömürlerinin Alkali Değişimleri

### 3.2 İSDEMİR’de Gerçekleşen Denemeler

ERDEMİR’deki denemelerde YFÇ’nin batarya kömür harmanında maksimum %1 kullanılacağı sonucuna varılmıştır. İSDEMİR’de ki çalışmalarda, batarya harman kömürüne ilave edilecek YFÇ oranı, %0,5-0,75 ve 1 olarak tarafımızdan seçilmiştir. Böylelikle %1 in altındaki YFÇ’nin kok kalite parametrelerine olan etkileri aşağıda izah edilmiştir. Aşağıdaki Çizelge.7’de İSDEMİR’de denemeleri yapılan harman kömürlerinin kül bileşenleri ve alkali indeksleri verilmiştir. ERDEMİR’deki çalışmaya benzer olarak bu denemelerde de ilave edilen YFÇ oranının da alkali indeksi yükselmiştir. Burada da artışa etki eden en önemli bileşen  $Fe_2O_3$ ’tür. Alkali indeksindeki değişim Şekil.4’te gösterilmiştir.

Çizelge.7 İSDEMİR harman kömürlerin kül bileşenleri

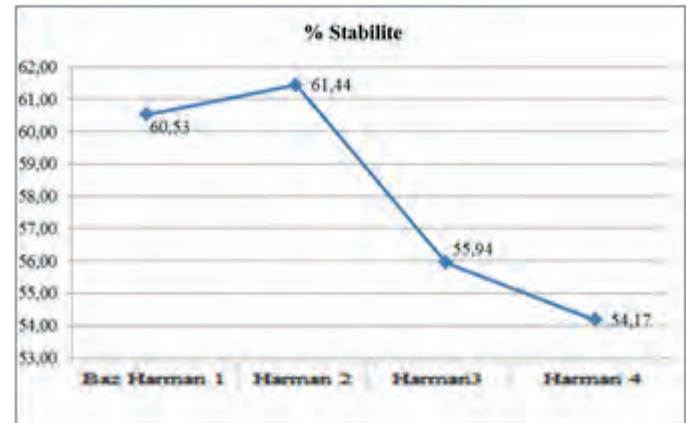
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Baz Harman 1	50,89	27,31	7,36	1,16	0,98	4,35	2,45	0,29	0,88
Harman 2	51,06	27,28	9,04	0,79	1,01	4,45	2,49	0,29	0,94
Harman 3	51,01	28,09	9,27	0,88	1,09	3,62	0,75	0,22	0,85
Harman 4	51,08	28,48	9,31	0,82	1,07	3,37	0,94	0,26	0,91

İSDEMİR’de gerçekleştirilen deneylerde elde edilen koklar üzerinde yapılan stabilite testlerinden elde edilen değerler arasında ki farklar, aynı harmandan elde edilen metalurjik koka uygulanan iki paralel stabilite testi arasında oluşabilecek fark kadardır.

Bu nedenle buradaki değişim miktarının YFÇ’den kaynaklı olduğu yorumuna varılamaz. Dolayısıyla %1 altıda ki oranlarda ilave edilen YFÇ, kok kalite parametrelerinden biri olan stabilite değerine olumlu ya da olumsuz bir etkisinin olup olmadığı ile ilgili bir sonuca varılamamıştır. Stabilite-Alkali indeks ile ilgili sonuçlar Çizelge 8’da ve Şekil.5 veilmiştir.

Çizelge.8 İSDEMİR Alkali indeksi- Stabilite ve Sertlik sonuçları

	Stabilite	Sertlik	Alkali Index
Baz Harman 1	58,3	64,9	0,196
Harman 2	58,4	63,9	0,220
Harman 3	59,5	64,4	0,186
Harman 4	58,6	64,7	0,186



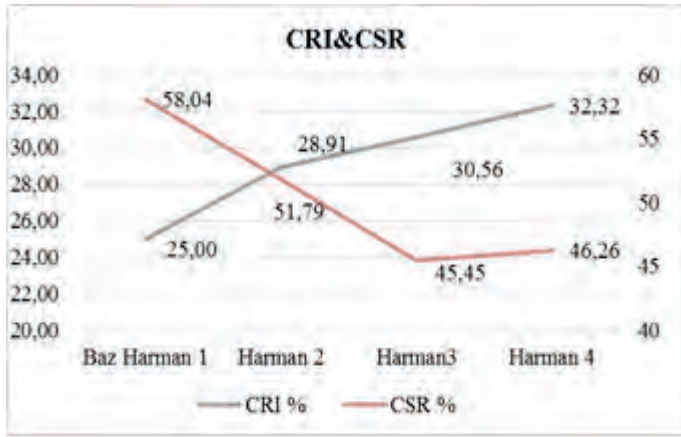
Şekil.5 İSDEMİR Stabilite değişimi

%1 in altındaki YFÇ’nun kömür harmanlarına ilave edildiğinde CRI ve CSR üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kömür

harmanlarına YFÇ ilavesine paralel olarak kokun içindeki Demir III oksit artışı Erdemir çalışmalarında da açıklandığı gibi CSR ve CRI değerlerinde negatif bir etki göstermiştir.

Çizelge.9 İSDEMİR Alkali İndeksi - CRI & CSR sonuçları

	CRI	CSR	Alkali İndeksi
Baz Harman 1	25,00	58,04	0,196
Harman 2	28,91	51,79	0,220
Harman3	30,56	45,45	0,186
Harman 4	32,32	46,26	0,186



Şekil.6 İSDEMİR CRI ve CSR değişimi

#### 4 SONUÇLAR

ERDEMİR ve İSDEMİR Kok laboratuvarlarında gerçekleştirilen YFÇ ilaveli denemelerde elde edilen CSR, CRI değerleri incelendiğinde;

%1 ve üstü YFÇ kullanımı ile elde edilen kokun CSR ve CRI değerlerinde büyük bozulmalara sebep olmuştur. Bu değerler CSR’ de başlangıç değeri 56,30 iken sırasıyla 36,36 -15,11 ve 4,07 olmuştur. CRI’ da bu değişim başlangıç değeri 29,40 iken YFÇ kullanımı ile beraber yükselişe geçmiş ve sırasıyla 38,95 - 50,20 - 5 4,32 olarak gerçekleşmiştir.

Stabilite ve sertlik değerlerinde ki değişimler CSR ve CRI’ da ki bozulmalara göre daha farklı bir seyir izlemiştir. %1 oranında kullanılan YFÇ, stabilite de 1 puanlık bir artış sağlamış fakat %3 ve %5 kullanımında sırasıyla 4,59 ve 6,36 puanlık bir

azalmaya neden olmuştur. Aynı durum sertlik değeri içinde geçerlidir.

%1 ve altı değerlerde kullanılan YFÇ ile elde edilen koklarda; CRI başlangıç değerler 25 iken, %YFÇ ilavesiyle beraber bu değer sırasıyla 28,92 - 30-56 - 32,32 olmuştur. CSR’ de ise başlangıç değeri 58,04 iken %YFÇ kullanım oranıyla beraber azalmalar meydana gelmiş ve sırasıyla 51,79-45,45-46,56 olmuştur.

%1 ve altı YFÇ kullanımında stabilite ve sertlik değerlerinde ki değişimler olumlu yönde seyir göstermiş ve 1 puanlık bir artış sağlamıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda koklaşabilir kömür harmanlarının içerisine ilave edilen YFÇ içinde barındırdığı Demir oksit başta olmak üzere birçok elementi koklaştırma prosesi esnasında kokun bünyesine geçirmektedir. Geçen bu elementler, başta demir oksit olmak üzere, kokun önce alkali indeksini dolayısı ile de kokun reaktifliğini arttırmaktadır. Buda, kok karbonu ile karbon dioksitinin yükseltgenme - indirgenme reaksiyonunda katalitik bir görev yaparak, reaksiyonda oluşan karbon monoksit verimliliğini arttırmaktadır. Bu durum koktan kopan ve uzaklaşan karbon miktarını yükselttiği için kokun reaksiyon indeksini gösteren CRI’ da artışa ve reaksiyon sonrası mukavemetini gösteren CSR’ de azalmaya neden olmaktadır.

Deneyler sonucu bazı koklaşabilir kömür harmanlarında %1 ve altı değerlerde (özellikle %0,5) YFÇ kullanılabilir.

Tamamlanan deneyler sonucunda bir sonraki deney tasarımı tek damar kömürleri kullanılarak testlerin yapılması üzerine planlanmıştır. Kalite parametrelerindeki dalgalanmaları elimine etmek için bu yöntem kullanılacaktır.

#### 5 TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bize yol gösteren Ar-Ge Direktörü Sn. Oğuz Gündüz ve Sn. Abdullah Gündüz’e,

Her türlü imkânı sağlayan Laboratuvarlar Müdürü Sn. Özlem Baydar’a

Yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen Hammaddeler ve Demir Üretim Ar-Ge Müdürlüğünden Sn. Didem Nedret Inceoğlu’na,

Deneylerin yapılmasında fiziksel emeklerini veren tüm Ar-Ge teknisyeni arkadaşlar ile Kömür ve Kok Laboratuvar personeline teşekkürü bir borç biliriz.

## KAYNAKLAR

- [1]Francis W. and Peters, M.C.: (1980), Fuels and Fuel Technology, Pergamon Press,New York, pp. 251-304).
- [2]Türkiye Taşkömürü Kurumu-Taşkömürü Sektör Raporu-2016 s;3-7-10.
- [3]Krivandin, M.C., Markov, B.: (1980), Metallurgical furnaces, Mir Publishers, Moscow.
- [4]P. Chen “The Prediction Of The Quality Of Coke By The Use Of V~G Diagrams”. -Department of Fuels Engineering, University of Utah, Salt Lake City, UT 84112.
- [5]van Herck, P.; Vandecasteele, C.; Swennen, R.; Mortier, R. Environ. Sci. Technol. 2000, 34, 3802.
- [6]T. Mansfeldt; R. Dohrmann .Environ. Sci. Technol. 2004, 38, 5977-5984
- [7]H. Sato, J.W. Patrick and A. Walker, “Effect of coal properties and porous structure on tensile strength of metallurgical coke”, Fuel, 1998, 77, pp. 1203-1208
- [8]W. Hermann, “Coke reactivity and strength, “Coke reactivity-summary and outlook Part I”, Cokemaking International, 1, 2002, pp. 18 -31
- [9]B. Feng, S.K. Bhatia and J.C. Barry, “Structural ordering of coal char during heat treatment and its impact on reactivity”,Carbon, 2002, vol. 40, pp. 481-496
- [10]L.D. Smoot and P.J. Smith, “Heterogeneous char reaction processes”, In Coal Combustion and Gasification. Plenum, New York, 1985, pp. 77-110

Not: Tüm deneyler ve test sonuçları ERDMİR ve İSDEMİR’ de ki Kömür ve Kok Laboratuvarlarının kendi imkan ve kabiliyetleri kullanılarak elde edilmiştir. Çizelge ve Şekillerin hepsinin kullanım hakkı ERDEMİR Grubuna aittir.



TW-6