

AGGRES 2016: 13-14 EKİM 2016/ KÜTAHYA-TÜRKİYE
AGGRES 2016: 13-14 OCTOBER, 2016/KUTAHYA-TURKEY



8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı

*Proceedings of the 8th International Aggregates
Symposium*

Baş Editör / *Editor in Chief*
C. Şensöğüt

Editörler Kurulu/*Editorial Board*
A.Uçar, H. Akçakoca, İ.G. Ediz & C. Doğruöz



**TMMOB MADEN
MÜHENDİSLERİ ODASI**
*THE CHAMBER OF MINING
ENGINEERS OF TURKEY*



**DUMLUPINAR
ÜNİVERSİTESİ**
DUMLUPINAR UNIVERSITY

© Tüm Hakları Saklıdır. TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın yazılı izni olmaksızın bu kitap ya da kitabın bir kısmı herhangi bir biçimde yayınlanamaz.

Ekim 2016

Teknik Hazırlık : Maden Mühendisleri Odası

Baskı : ÖNKA Kağıt Ürün İml. Mat. Yay. Ltd. Şti.
Büyük Sanayi 1. Cad. 80/32 İskitler/ANKARA

Tel / Fax : 312 384 26 85 / 312 341 64 08

İsteme Adresi : TMMOB Maden Mühendisleri Odası
Selanik Caddesi No: 19/4 Kızılay / ANKARA

Tel : 0312 425 10 80 Faks : 0312 417 52 90

İnternet Adresi : www.maden.org.tr

E-Posta : maden@maden.org.tr

ISBN: 978-605-01-0904-7

SUNUŞ

TMMOB ve Odamızın temel görevlerinden biri de bilimsel ve teknik çalışmalar ile deneysel çalışmalarda bulunarak elde edilen bilimsel verileri kamuoyuna sunmak ve üyeleri ile paylaşmak için bilimsel kongreler, sempozyumlar, seminerler ve çalıştaylar düzenlemektir. Odamız tarafından her çalışma döneminde bu kapsamda ve pek çok alanda etkinlikler düzenlenmektedir. Bu etkinliklerden biri olan Kırmataş Sempozyumu daha önceki yıllarda ulusal düzeyde yapılırken sekizinci kez düzenlediğimiz sempozyum bu yıl TMMOB Maden Mühendisleri Odası Kütahya İl Temsilciliği ile Dumlupınar Üniversitesi tarafından 13-14 Ekim 2016 tarihlerinde uluslararası düzlemde gerçekleştirilmektedir.

Ülkemizde madencilik planlamalarının ve politikalarının en temel uygulaması olan Maden Kanunu son 12 yıl içerisinde 3 kez değişime uğramış ve 18 Şubatta onaylanarak yürürlüğe giren yeni maden kanunu çıktığı günden itibaren “yeni kanun ne zaman çıkacak?” şeklindeki sorularla tartışılmaya başlanmıştır. 2004 yılında 5177 sayılı kanunda yapılan değişiklikle ruhsat güvencesine kavuşturulan agrega sektörü bu kadar sık değişen ve değiştirilen bir maden kanunu ile ruhsat güvencesinden daha da riskli olan planlama, yatırım ve geleceksizlik sorunları ile karşı karşıya kalmaktadır. Mevzuatın bu duyarsızlığı aynı zamanda tüm sektörü de benzer şekilde etkilemektedir.

Havza Madenciliği`nin üretim, yerinde kalite kontrolü, taşıma ve rehabilitasyonu gibi konularda teknik önerilerin hazırlanmasında halen ciddi eksiklikler mevcuttur. Nitekim, kırmataş işletmeleri kendi ruhsat sınırları içerisinde yapmayı taahhüt ettikleri yeniden yapılandırma veya doğaya yeniden kazandırma planlarını komşu ruhsatlardan bağımsız olarak hazırlayabilmektedirler. Bu planlar morfolojik kirliliğe neden oldukları gibi her an yenilme riskine açık şevler oluşturmakta, iş sağlığı ve güvenliğini ciddi ölçüde ve artarak tehdit etmektedirler. Bu durumun önlenmesi, iş sağlığı ve güvenliği önem ve önceliğinde, ekonomi ve ekoloji anlayışını da kapsayan “havza madenciliğine” uyumlu yeniden yapılandırma ve doğaya yeniden kazandırma projeleri ile ancak mümkündür.

Kırmataş sektörünün, ulaştığı yatırım düzeyi, yıllık bilançosu, üretim boyutu ve sağladığı istihdam ile madencilik alanında ülkemize katma değer üreten özel ve önemli bir iş kolu durumundadır. Ancak, artan yoğun ve plansız/çarpık kentleşme alanları içinde kalmış kırmataş ocak işletmeleri; ham madde kapasitelerine göre sürdürülebilir üretimleri, bilimsel ve teknik açıdan “yeniden yapılandırılma gereklilikleri” dikkate alınmadan, karşılaşılan iş güvenliği ve çevre sorunları yanında artan sosyal baskılar ile teknik ve ekonomik açıdan sınırlandırılarak, sonlandırılmaktadır.

Ülkemizde agrega olabilecek maden rezervleri oldukça yaygın ve büyüktür. Ancak, “güvenilir rezerv/üretim/kalite envanteri” halen eksiktir. Bu nedenle sektörel yapı hakkındaki bilgiler tam olarak ortaya koyulamamaktadır. Üretim ölçekleri çok cılız olup orta gelir tuzağı içinde çakılı kalmış olan ülke ekonomisinin; ~ 10,000 \$/fert` ten olması gereken milli gelir düzeyi 25,000 \$/fert` e ulaşması için en az fert başına yılda 10 ton mertebesinde agrega üretimi (780 milyon ton/yıl) olmalıdır. Söz konusu değer mevcut üretimin yaklaşık 1.6 katıdır.

Arazi kullanımındaki sınırlamalar, çevre sorunları ve yüksek nakliye maliyetleri mevcut rezervlerin kullanımını sınırlamaktadır. Dolayısıyla, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımının önemli olduğu günümüzde ocaklarda üretilen kayaçların mümkün olduğunca değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sürdürülebilirlik kavramı içinde “geri dönüşümlü agregaların” kullanımını belirleyen ve denetleyen sınır şartların bilimsel ve teknik olarak ortaya konularak planlama ve karar alma süreçlerinde daha hızla ilerleyebilmek için gerekli standart ve veri tabanlarının ivedikle oluşturulması gerekmektedir.

Bu bilimsel gerekliliklerin madencilik sektöründe yaşama geçmesi önemli bir madencilik faaliyet alanı olan kırmataş sektörüne dönük gelişmelerin gözden geçirileceği, sorunların tartışılacağı ve çözüm önerilerinin getirileceği, bilimsel ve teknolojik gelişmelerin tartışılacağı, 8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumunun mevcut sorunların çözümüne, ülkemize ve sektörümüze katkı koyacağına inancımızla sempozyumu destekleyen madencilik kuruluşlarımıza, sempozyumun düzenlenmesinde emeği geçen Kütahya İl Temsilciliği’ ne, Sempozyum Yürütme ve Bilimsel Kurul Üyelerine, bildiri sunarak katkı koyan saygıdeğer meslektaşlarımıza ve hocalarımıza, bizzat katılarak bizleri onurlandıran delegele- rimize ve emeği geçen herkese TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu ve şahsım adına teşekkürlerimizi sunarım.

Ayhan YÜKSEL

TMMOB Maden Mühendisleri Odası

Yönetim Kurulu Başkanı

13 Ekim 2016, Kütahya

TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI YÖNETİM KURULU

Başkan :Ayhan YÜKSEL
II. Başkan :Emre DEMİR
Yazman :Necmi ERGİN
Sayman :Mehmet ÖZYURT
Üyeler :Sinan GİRDAPLI
Öznur AKÇA
Servet GÜRER

DÜZENLEME KURULU

Prof. Dr. Remzi GÖREN - Dumlupınar Üniversitesi Rektörü
Ayhan YÜKSEL - TMMOB Maden Mühendisleri Odası Başkanı

YÜRÜTME KURULU:

YÜRÜTME KURULU BAŞKANLARI

Dr. Cem ŞENSÖĞÜT
Dr. Ali UÇAR

YAZMAN

Mehmet ÖZDEMİR

SAYMAN

Sevgi KARACA

ÜYELER

Dr. Ahmet AYDIN
Dr. Kaan ERARSLAN
Dr. Önder UYSAL
Dr. Cengiz KARAGÜZEL
Dr. Hakan AYKUL
Dr. Nezahat EDİZ
Dr. Yaşar KASAP
Dr. Oktay ŞAHBAZ
Dr. Sunay BEYHAN
Dr. Necmettin ÇETİN
Dr. Uğur DEMİR
Dr. Şahin YUVKA
Dr. Özer ÖREN
Ömer CANIEREN
Ahmet ÖZGÜR
Görkem ERTUĞRUL

BİLİMSEL KURUL

Dr. Darron W. DIXON-HARDY	Leeds (UK)	Dr. Cengiz KARAGÜZEL	DPÜ
Dr. Jafar Khademi HAMIDI	Modares (IR)	Dr. Hulusi KARGI	PAÜ
Dr. Viqar HUSAIN	UOK (PK)	Dr. Celal KARPUZ	ODTÜ
Dr. Tomasz NIEDOBA, AGH	AGH (PL)	Dr. Yaşar KASAP	DPÜ
Dr. Antonio NIETO	PSU (USA)	Dr. Muammer KAYA	ESOGÜ
Dr. Jamal ROSTAMI	PSU (USA)	Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ	ÇÜ
Dr. Agnieszka SURAWIAK	AGH (PL)	Dr. Özen KILIÇ	ÇÜ
Dr. Oleksander TOLKACH	ZTU (UA)	Dr. Sezai KIRIKOĞLU	İTÜ
Dr. Michael TUCK	FedUni (AU)	Dr. Yaşar KİBİCİ	DPÜ
Dr. Hamdi AKÇAKOCA	DPÜ	Dr. Hüseyin KOCA	AÜ
Dr. Ata Utku AKÇİL	SDÜ	Dr. Sabiha KOCA	ESOGÜ
Dr. Nuri Ali AKÇİN	BEÜ	Dr. Yılmaz KOÇAK	DPÜ
Dr. Ünal AKDEMİR	CÜ	Dr. Gürcan KONAK	DEÜ
Dr. Serkan AKKİRAZ	DPÜ	Dr. Adnan KONUK	ESOGÜ
Dr. C.Okay AKSOY	DEÜ	Dr. Hayrettin KORAL	İÜ
Dr. Hürriyet AKTAŞ	ESOGÜ	Dr. Halil KÖSE	DEÜ
Dr. Raşit ALTINDAĞ	SDÜ	Dr. Halil KUMSAR	PAÜ
Dr. Ali İhsan AROL	ODTÜ	Dr. Orhan KURAL	İTÜ
Dr. Nevzat ARSLAN	CÜ	Dr. İlgin KURŞUN	İÜ
Dr. Vedat ARSLAN	DEÜ	Dr. Mustafa KUŞÇU	SDÜ
Dr. Ahmet AYDIN	DPÜ	Dr. Turgay ONARGAN	DEÜ
Dr. Mustafa AYHAN	DÜ	Dr. Hükümü ORHAN	SÜ
Dr. Hakan AYKUL	DPÜ	Dr. Mustafa ÖNDER	ESOGÜ
Dr. Recep BAKIŞ	AÜ	Dr. Bahri ÖTEYAKA	ESOGÜ
Dr. Cemal BALCI	İTÜ	Dr. Gıyasettin ÖZCAN	UÜ
Dr. Ataç BAŞÇETİN	İÜ	Dr. Alper ÖZKAN	SÜ
Dr. Oktay BAYAT	ÇÜ	Dr. İhsan ÖZKAN	SÜ
Dr. Hakan BENZER	HÜ	Dr. Baki ÖZTÜRK	HÜ
Dr. Mehmet M. BERİLGİN	YTÜ	Dr. Eyüp SABAH	AKÜ
Dr. Sunay BEYHAN	DPÜ	Dr. Saim SARAÇ	SDÜ
Dr. Nuh BİLGİN	İTÜ	Dr. Ayhan Ali SİRKECİ	İTÜ
Dr. Erdin BOZKURT	ODTÜ	Dr. Ender SÖNMEZ	ESOGÜ
Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY	ÇÜ	Dr. Harun SÖNMEZ	HÜ
Dr. Mustafa ÇINAR	OMÜ	Dr. Oktay ŞAHBAZ	DPÜ
Dr. Uğur DEMİR	DPÜ	Dr. Ahmet ŞAŞMAZ	FÜ
Dr. Vedat DENİZ	HİTİT Ü.	Dr. Cüneyt ŞEN	KTÜ
Dr. Vedat DİDARİ	BEÜ	Dr. Cem ŞENSÖĞÜT	DPÜ
Dr. CİHAN DOĞRUÖZ	DPÜ	Dr. Erhan TERCAN	HÜ
Dr. Selma DÜZYOL	SÜ	Dr. İlker Bekir TOPÇU	ESOGÜ
Dr. İ.Göktay EDİZ	DPÜ	Dr. Ö.Yusuf TORAMAN	ÖHÜ
Dr. Nezahat EDİZ	DPÜ	Dr. İhsan TOROĞLU	BEÜ
Dr. M.Emin EMİROĞLU	FÜ	Dr. Mahmut TURAN	DPÜ
Dr. Kaan ERARSLAN	DPÜ	Dr. Bülent TÜTMEZ	İÜ
Dr. Murat ERDEMOĞLU	İÜ	Dr. Ali UÇAR	DPÜ
Dr. Zeynel Abiddin ERGÜLER	DPÜ	Dr. Yaşar UÇBAŞ	ESOGÜ
Dr. Levent ERGÜN	HÜ	Dr. Suphi URAL	ÇÜ
Dr. Hasan GERÇEK	BEÜ	Dr. Gülsev UYAR	HÜ
Dr. İsmail GİRGIN	HÜ	Dr. Önder UYSAL	DPÜ

Dr. Mete GÖKTAN	ESOGÜ	Dr. Veli UZ	DPÜ
Dr. Kazım GÖRGÜLÜ	CÜ	Dr. Tuğrul ÜNLÜ	BEÜ
Dr. Kadir GÜLER	İTÜ	Dr. Ülvi Can ÜNLÜGENÇ	ÇÜ
Dr. Eyüp GÜLHANDILAR	ESOGÜ	Dr. Bahtiyar ÜNVER	HÜ
Dr. Ali GÜNEY	İTÜ	Dr. Fuzuli YAĞMURLU	SDÜ
Dr. O.Zeki HEKİMOĞLU	MU	Dr. İsmail Özgür YAMAN	ODTÜ
Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN	HÜ	Dr. Gürsel YANIK	DPÜ
Dr. Çetin HOŞTEN	ODTÜ	Dr. Mahmut YAVUZ	ESOGÜ
Dr. Metin HÜSEM	KTÜ	Dr. Ali Osman YILMAZ	KTÜ
Dr. Selahattin KADİR	ESOGÜ	Dr. Bülent YILMAZ	BŞEÜ
Dr. Sair KAHRAMAN	HÜ	Dr. Şahin YUVKA	DPÜ
Dr. Yaşar KALTAKÇI	HKÜ	Dr. Veysel ZEDEF	SÜ
Dr. Çağatay KARABÖRK	DPÜ		

Sempozyumu Destekleyen Kurum ve Kuruluşlar *(Companies Supporting the Symposium)*

Bu sempozyumun düzenlenmesinde katkıda bulunan, aşağıdaki kurum ve kuruluşlara teşekkür ederiz.

Support of the following companies is gratefully appreciated.

- Park-Teknik Elektrik Madencilik Turizm San. Ve Tic. A.Ş.
- Kütahya Porselen Sanayii A.Ş.
- Evyap Sabun, Yağ, Gliserin Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İstanbul)
- Eray Bazalt Madencilik Taahhüt Ticaret ve San. Ltd. Şti.
- Biberci İnşaat Nakliyat Petrol Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.
- Çetka Yapı Mim. Müh. İnş. Dan.Tic. ve San. Ltd. Şti.
- Arma İnşaat Maden Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.
- Odak Refrakter ve Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
- Maltaş Kimya Maden (MKM) Ltd. Şti.
- Türkiye Kömür İşletmeleri

ÖNSÖZ

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü ve TMMOB Maden Mühendisleri Odası tarafından ortaklaşa olarak düzenlenen 8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu (AGGRES 2016), 13-14 Ekim 2016 tarihlerinde Dumlupınar Üniversitesi Merkez Yerleşkesi, Kütahya’da gerçekleştirilmiştir. Daha önceleri ulusal bazda gerçekleştirilen sempozyum, bu yıl ilk defa talepler doğrultusunda uluslararası katılımcılara da açılmıştır.

Sanayileşme, nüfus artışı ve daha kaliteli yaşama olan talep, pek çok alanda olduğu üzere agrega üretiminde de talep artışına sebep olmuştur. Özellikle alt yapı eksikliğinin giderilmesinde ve nitelikli mühendislik yapılarında temel girdi olarak kullanılan kırmataş, madencilik sektöründe özel ve önemli bir işkolu olarak hem dünyada hem de ülkemizde yerini almıştır. Bu bağlamda, elinizde bulunan kitaptaki bildiriler; Kırmataş Hammadde Kaynakları ve Mühendislik Özellikleri; Kırmataş Ocaklarının Kazı ve Teknolojisi; Delme-Patlatma Tasarımı ve Uygulaması; Hammadde Hazırlama ve Teknolojisi; Beton, Asfalt ve Balast Agregaları; Endüstriyel Uygulamalar; Alternatif Hammadde Kaynakları; Arama, Planlama ve Fizibilite; İş Sağlığı ve Güvenliği; Kırmataş Ocak İşletmeciliğinin Çevresel Etkileri ve Sürdürülebilirlikleri ve Diğer İlgili Konular olmak üzere 11 ana başlık altında toplanmıştır. Bu bildiriler kitabındaki 62 bildiri 3 farklı ülkedeki araştırmacılar tarafından hazırlanmıştır.

AGGRES 2016 Sempozyumu’nun başarılı geçmesine katkı sağlayan Kurum ve Kuruluşlara, Sempozyum Yürütme Kuruluna, Bilimsel Kurula, Oturum Başkanlarına, Bildiri yazarlarına ve oturumlarda yer alan tüm Delegelelere katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Prof. Dr. Cem ŞENSÖĞÜT

Prof. Dr. Ali UÇAR

Sempozyum Yürütme Kurulu Başkanları

FOREWORD

The 8th International Aggregate Symposium (AGGRES 2016) organized jointly by the Mining Engineering Department of Dumlupınar University and the Chamber of Mining Engineers of Turkey was held between October 13 and 14, 2016 at Central Campus of Dumlupınar University in Kütahya, Turkey. Although it has been realized previously as a national symposium, it was opened this year to the international attendance on demand for the first time.

Industrialization, increase in population and demand for a more qualified life have resulted in an increase in the production of aggregates as such in many fields. Aggregate utilized as the primary input of eligible engineering structures as well as eliminating substructure deficiencies has taken its place both in the world and in Turkey as an important and special branch of mining sector. In this respect, the papers included in the proceedings volume have been grouped under 11 specific themes which are Aggregate Deposits and Engineering Properties; Excavation and Technology in Aggregate Production; Drilling-Blasting Design and Application; Processing and Technology of Raw Material; Concrete, Asphalt and Ballast Aggregates; Industrial Applications; Alternative Raw Material Sources; Exploration, Planning and Feasibility; Occupational Health and Safety; Environmental Impacts and Sustainability of Aggregate Quarries; and Miscellaneous. The 62 papers included in this volume have been prepared by researchers from 3 countries.

The support provided for AGGRES 2016 to be successful from the sponsors and exhibitors, organizing committee, scientific and advisory committee, plenary session speakers, poster presenters, technical session chairs and delegates are gratefully acknowledged.

Prof. Dr. Cem ŞENSÖĞÜT

Prof. Dr. Ali UÇAR

Symposium Co-Chairs

İçindekiler (Contents)

Önsöz (Foreword).....	
Düzenleme ve Yürütme Kurulu (Organizing Committee)	
Bilimsel Kurul (Scientific Advisory Board)	

1. Kırmataş Hammade Kaynakları ve Mühendislik Özellikleri (Aggregate Deposits and Engineering Properties)

Bazalt Kayacının Tahribatsız Test Yöntemleri ile Tek Eksenli Basınç Dayanımının Tahmini: Trabzon-Maçka Bölgesi	2
<i>Prediction of Uniaxial Compressive Strength of Basaltic Rock by Non-destructive Test Methods: Trabzon-Maçka Region</i>	
T. Yılmaz Kırmataş Kökenli Dolgu Malzemelerinin Sıkışma Performanslarının Değerlendirilmesi.....	9
<i>Evaluation of Compaction Performance of Aggregate Originated Filling Material</i>	
İ. Çobanoğlu & S.B. Çelik Analysis of Geological, Mechanical and Characteristics of using Aggregates in Tailings Pond....	19
<i>Atık Havuzlarında Kullanılan Agregaların Jeolojik Ve Mekanik Özelliklerinin Analizi</i>	
G. Ertuğrul, E. Göz & A. Uçar Kalker, Marn ve Şeylin Sünme Karakterizasyonu-Bitümlü Gözenekli Agregaya için Don-Mikrodalga Kurutma-Bilya Darbe Dayanım Testi ile Sünme Etüdü	29
<i>Creep Characterization of Bitumen Limestone Marl and Shale-Thaw-Microwave Drying-Dropball Impact Strength of Porous Aggregate</i>	
Y.İ. Tosun Değişik Doğaltaş Agregaların Kilitli Beton Parke Bloklarının Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi	38
<i>Investigation of the Effect of Different Stone Aggregates to the Mechanical Properties of Locked Concrete Paving Stones</i>	
M.Y. Çelik, M. Ersoy & A. Şahbaz Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi	46
<i>Effect of High Temperature Conditions on Mechanical and Physical Properties of Rocks Used as Building Materials</i>	
E. Özdemir & D. Eren Sarıcı Characterization of Limestone Aggregates for Iron-steel Making Industry.....	51
<i>Demir-Çelik Endüstrisi için Kireçtaşı Agregalarının Karakterizasyonu</i>	
Ö. Kılıç Evaluation of Resistance to Los Angeles Abrasion and Physical Factors with Grindability Properties of Some Aggregate Materials.....	59
<i>Bazı agregaya malzemelerinin Los Angeles aşınma ve fiziksel etmenlere karşı dayanımı ile öğütme özelliklerinin belirlenmesi</i>	
C. Şensöğüt, S. Düzyol & İ. Çınar Kayaçların İş İndeksinin Bulanık Mantık ile Tahmin Edilmesi.....	67
<i>Estimation of the Work Index of Rocks via Fuzzy Logic</i>	
A. Uçar, S. Karaca & E. Gülbandır Balast Agregaya Malzemesi Dayanımı Kestiriminde Nokta Yüğü Dayanım İndeksine İlişkin Kullanım Önerilerinin Geliştirilmesi.....	73
<i>Development of Proposals for Utilization of Point Load Strength to Estimate the Strength of Ballast Material</i>	
E. Öken & A. Özarlan	

Agrega Olarak Kullanılan Bozlutep (Selki-Hüyük-Konya) Kireçtaşlarının Bazı Jeolojik Özellikleri.....	84
<i>Some Geological Properties of Bozlutep Limestones (Selki-Hüyük-Konya) Used as Aggregate</i> V. Zedef & G. Kansun	
2. Kırmataş Ocaklarının Kazı ve Teknolojisi (Excavation and Technology in Aggregate Production)	
Sivas-Ulaş Yöresindeki Bir Kırmataş Ocağına Uygulanan Süreç İyileştirme Çalışmalarının Patlatma Maliyetine Etkisinin Araştırılması.....	91
<i>Investigation of the Effect of Process Improvement Studies on Cost of Blasting Applied in a Quarry in Sivas-Ulaş District</i> S. Ercins & H. Akçakoca	
3. Delme-Patlatma Tasarımı ve Uygulaması (Drilling-Blasting Design and Application)	
Patlatmadan Kaynaklı Çevresel Etkilerin İncelenmesi ve Uygulamaya İlişkin Bir Örnek	103
<i>The Investigation of Environmental Impacts Induced by Blasting and An Example of Practice</i> A. M. Kılıç & E. Kahraman	
Bir Taşocağında Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Değerlendirilmesi.....	113
<i>Evaluation of the Blast-Induced Vibrations in a Quarry</i> Ö. Uysal, Ş. Yuvka, M. Özdemir & A. Özgür	
Bir Taşocağında Titreşim Ölçümüne Dayalı Risk Analizi ve Patlatma Tasarımı.....	118
<i>Risk Analysis and Blasting Design Based on the Vibration Measurement in a Quarry</i> A. Karadoğan, M. C. Özyurt, Ü. Özer & Ü. Kalaycı	
Patlatma Kaynaklı Sarsıntı ve Gürültü Analizi için Bir Bilgisayar Programı Geliştirilmesi ve Kırmataş Ocağı Uygulaması.....	129
<i>Development of a Computer Program for Analysis of Vibration and Noise Caused by Blasting and Aggregate Pit Operation</i> E. Kazan, S. Sülünbaş, S. Ercins & H. Akçakoca	
Effective Fragmentation and Flyrock Control Strategies at Quarries.....	140
<i>Taş Ocaklarında Etkili Parçalanma ve Taş Savrulması Kontrol Stratejileri</i> S. Esen	
Elektronik ve Nonel Ateşleme Sistemlerinin Karşılaştırılması	152
<i>Comparison of Electronic and Nonel Ignition Systems</i> S. Ercins & H. Akçakoca	
Kentsel Alanda Patlatmalı Kazılarda Proje Adımları	162
<i>Project Steps of Excavations by Blasting in Urban Area</i> Ü. Özer, Ü. Kalaycı, A. Karadoğan & M.C. Özyurt	
Basamak Patlatmasında Kullanılmak Üzere Geliştirilen Bir Android Yazılımı	171
<i>An Android Application Developed to be used in Bench Blasting</i> A. Sakcalı, H. Yavuz & H. Cevizci	
Development of a New Technique for Reducing the Maximum Particle Velocity Arising from the Blast	180
<i>Patlatmadan Kaynaklanan En Yüksek Parçacık Hızının Azaltılmasını Sağlayan Yeni Bir Laboratuvar Tekniğinin Geliştirilmesi</i> A. Tosun	

Çorum Belediyesinin Taş Ocağında Elektronik ve Elektriksiz Patlatma Sistemlerinin Kullanılarak Hava Soku ve Yer Sarsıntısı Açısından Karşılaştırması	186
<i>Comparison in Terms of Air Blast and Ground Vibration of Electronic and Non-El Blasting Systems at the Çorum Municipality's Quarry</i>	
V. Deniz	
Geleneksel ve Elektronik Ateşleme Sistemlerinin Karşılaştırması	195
<i>Comparison of Conventional and Electronic Blasting Systems</i>	
V. Deniz	
4. Hammadde Hazırlama ve Teknolojisi	
(Processing and Technology of Raw Material)	
Dry Grinding Kinetics of Gölbaşı (Ankara) Andesite in Ball Mill	209
<i>Gölbaşı (Ankara) Andezitinin Bilyalı Değirmende Kuru Öğütme Kinetiği</i>	
T. Ağaçayak & A. Aras	
Bant Hızı/Kafa Devri Oranının Doğaltaşların Yüzey Özelliklerine Etkisi	214
<i>The Effect of Belt Speed/Head Rotation Rates to the Surface Characteristics of Natural Stones</i>	
M. Ersoy, M. Y. Çelik, L. Yeşilkaya & G. Geçer	
Agrega Üretiminde Kullanılan Endüstriyel Kırıcılar	224
<i>Industrial Crushers Used in Aggregate Production</i>	
S. Karaca, Ö. Cameren, U. Demir, O. Şahbaz & C. Karagüzel	
5. Beton, Asfalt ve Balast Agregaları	
(Concrete, Asphalt and Ballast Aggregates)	
Alkali Aktive Yüksek Fırın Cürüflü Betonların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması	236
<i>Investigation of the Mechanical Properties of Concrete Containing Alkali-Activated Blast Furnace Slag</i>	
T. Yılmaz, F. Cihangir & B. Erçikdi	
Beton Üretiminde En Uygun Agregası Karışımının İstatistiksel Deney Tasarımı Yöntemi ile Belirlenmesi	243
<i>Determination of Optimal Aggregate Blending With Design of Experiment in Concrete Production</i>	
D. Adıgüzel, A. Başçetin & S. Tüylü	
MgSO ₄ Etkisindeki Betonların Basınç Dayanımının ANFIS ile Tahmini	251
<i>Predicting the Compressive Strength of Concrete Under the Effect of MgSO₄ by ANFIS</i>	
Y. Koçak & E. Gülbandır	
Hekimhan (Malatya) Doğal Zeoliti Katkılı Betonun Mekanik ve Durabilite Özellikleri	263
<i>Mechanical and Durability Properties of Concretes Incorporating Hekimhan (Malatya) Natural Zeolite</i>	
M. Genç, Ç. Ceylan, C. Fenerli, N. Kızılkaya & M. Önal	
Kırma Kumlu Taze Harçlara Elektriksel Yöntemle Hızlandırılmış Kür Uygulaması	271
<i>Rapid Curing Application with Electrical Method on Fresh Mortar Containing Crushed Sand</i>	
T. Uygunoğlu, İ.B. Topçu, İ. Hocaoğlu & B. Selçuk	
Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Rötre Azaltıcı Katkının Basınç Dayanımına Etkisi	275
<i>The Effect of Shrinkage Reducing Admixtures to Fresh Properties Concrete and Compressive Strength of Self Compacting Concrete</i>	
E. Tekin, İ. Demir, H. Acer, M. Kantar, A.H. Hafızoğulları, Ş. Bakırcı Er & Ö. Sevim	
Diyatomit Agregaların Çimento Esaslı Hafif Harç Özelliklerinin Gelişimine Etkisi	284
<i>Effect of Diatomite Aggregates on Improving the Cement Based Lightweight Mortar Properties</i>	
L. Gündüz & Ş. O. Kalkan	

Prediction of Splitting Tensile Strength of Concrete Containing Zeolite and Diatomite by ANN.. <i>Zeolit ve Diyatomit İçeren Betonun Yarmada Çekme Dayanımının ANN ile Tahmini</i> E. Gülbandır & Y. Koçak	295
Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu İkamesinin Kompoze Olarak Çimento Harçlarına Mekanik Etkisi	306
<i>Mechanical Effect of Composed Fly Ash and Blast Furnace Slag Replacement on Cement Mortars</i> İ. Demir, S. Güzelküçük, H. Yaprak & A. Filazi	
Zeolit İkamelili Betonların H ₂ SO ₄ Etkisine Karşı Performansı	313
<i>Performance Against the Effects of H₂SO₄ of Concretes Substituted Zeolite</i> Y. Koçak & M. Savaş	
Agrega Madenciliğinin Hazır Beton Üretimindeki Yeri	324
<i>Place in the Ready Mixed Concrete Production of Aggregate Mining</i> E. Kahraman & A. M. Kılıç	
Agrega Tane Boyutunun Betonun Yapısal ve Isıl Özelliklerine Etkisi	330
<i>The Effect of Aggregate Particle Size to Structural and Thermal Properties of Concrete</i> M.U. Toprak, Y. Kibici, N.D. Coşkun, V. Uz & S. Ersoy	
Renkli Agregalarla Üretilen Harçların Mekanik, Fiziksel ve Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi	342
<i>Investigation of Mechanical, Physical and Durability Properties of Mortars Produced with Colored Aggregates</i> A. Demir	
6. Endüstriyel Uygulamalar (Industrial Applications)	
Atık Asfalt Kaplamalarının Beton Yol Yapımında Kullanımı	354
<i>Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Concrete Road</i> T. Uygunoğlu & S. Çetin	
7. Alternatif Hammadde Kaynakları (Alternative Raw Material Sources)	
Yılkale-Misis (Adana) Kireçtaşlarının Agregası Kalitesinin Değerlendirilmesi	360
<i>Evaluation of Quality of Yılkale-Misis (Adana) Limestone Aggregate</i> Ö. Kılıç & S. Yurdakul	
Beyyazı (Afyonkarahisar) Mermerlerinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi	369
<i>Investigation of the Usability of Beyyazı (Afyonkarahisar) Carbonatic Rocks as Concrete Aggregate</i> M.Y. Çelik, M. Ersoy & A. Şahbaz	
Ankara Mamak Yöresindeki Kireçtaşlarının Beton ve Asfalt Agregası Olarak Değerlendirilmesi	382
<i>Evaluation of Limestones of Mamak Region as Concrete and Asphalt Aggregate</i> R. Soypak & A. Kayabaşı	
İzmir-Alaçatı Taşının Kuru Karışım Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği Üzerine Teknik Bir Analiz	390
<i>A Technical Analysis on Usability of İzmir-Alaçatı Rock as Dry Mixture Lightweight Concrete Aggregate</i> L. Gündüz, Ş.O. Kalkan & N.K. Aydoğdu	
Trabzon (Düzköy) Bölgesindeki Volkanitlerin Yol Dolgusu Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi	400
<i>The Investigation of Usage of Trabzon (Düzköy) Region Volcanites as Filling Material for Roads</i> G. Külekçi & A. O. Yılmaz	

Van İli Tuşba İlçesi Beyüzümü Mevkiinden Alınan Kireç Taşlarının Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması.....	406
<i>Investigation of the Usability of Limestones as Aggregates in Beyüzümü Location of Tuşba District of Van</i>	
O.O. Varol, M. Türkmenoğlu & Z.F. Türkmenoğlu	
Volkanik Tüfün Harç İçerisinde Çimento Yerine Kullanılabilirliğinin Araştırılması.....	414
<i>An Investigation into The Applicability of Volcanic Tuff As a Substitute for Cement in Mortar</i>	
S. Beyhan, M. Özdemir & İ. E. Alkan	
Kütahya Ilıca Bölgesi Bazaltlarının Kırmataş Olarak Değerlendirilmesi.....	420
<i>Evaluation of Bazalt Located in Kütahya Ilıca Region</i>	
C. Doğruöz, M. Demirbilek, Ü. Arslan, A. Uçar, K. Oğul & Y. Kibici	
8. Arama, Planlama ve Fizibilite	
(Alternative Raw Material Sources)	
Development of the Productivity in European Aggregate Production	430
<i>Avrupa Agrega Üretiminde Verimlilik Gelişimi</i>	
Y. Kasap & Ş. Kırış	
9. İş Sağlığı ve Güvenliği	
(Alternative Raw Material Sources)	
Kırmataş Tesislerinde Çalışanların Maruz Kaldığı Fiziksel Risk Etmenleri	439
<i>Physical Risk Factors for Employees of the Aggregate Crushing Plants</i>	
A.E. Arıtan, C. Şensöğüt, Ö. Ören & M. Tümer	
Türkiye Mermer Ocaklarında Risk Değerlendirmesi ve Uygulama Örnekleri.....	445
<i>Risk Assessment of Marble Quarries in Turkey and Case Studies</i>	
İ. Çınar & C. Şensöğüt	
Kırmataş Sektöründe Titreşim Problemine Genel Bakış.....	453
<i>Vibration Problem of Crushed Stone Industry: An Overview</i>	
A.E. Arıtan, C. Şensöğüt & M. Tümer	
İş Sağlığı ve Güvenliği Tabanlı Problemlerin Çözümü için Yeni Bir Risk Analiz Yöntemi (HSA)	460
<i>A New Risk Analysis Method (FCA) to Solve the Problems Based on Occupational Health and Safety</i>	
M. Ersay & M.Y. Çelik	
Açık Ocak İşletmelerinde İş Güvenliği Uygulaması Örnek Ocak Çalışması.....	476
<i>Applications of Occupational Safety at Open Pit Mining: a Case Study</i>	
R.E. Şafak, C. Şensöğüt & Y. Kasap	
Kırma Tesislerinde Gürültü Sorunu ve Çok Değişkenli Matris Yöntemiyle Risk Analizi	485
<i>Noise Problem in Crushing Plant and Risk Assessment Using the Multi Variable Matrix Method</i>	
O. Şahbaz, E.S. Ersöz & C. Karagüzel	

10. Kırmataş Ocak İşletmeciliğinin Çevresel Etkileri ve Sürdürülebilirlikleri
(Environmental Impacts and Sustainability of Aggregate Quarries)

Environmental Impact of Sand Mining in Malir River Bed Karachi, Pakistan.....	492
<i>Malir Nehir (Karaçi, Pakistan) Yatağındaki Kum Ocağı Madenciliğinin Çevresel Etkisi</i> V. Husain, G. Hamid, M. Bilal, R. Yassen & S. Anjum	
Taş Ocaklarında Yapılan Patlatmanın Tabiat Varlıklarına Etkisinin Araştırılması: Tescilli Kaya Odası Örneği (Kelkit/Gümüşhane).....	498
<i>The Investigation of Blasting Effect on Natural Heritages in Quarries: Registered Rock Room Sample</i> G. Külekçi & S. Alemdağ	

11. Diğer İlgili Konular
(Miscellaneous)

Bond İş İndeksi Tayininde Kullanılan Farklı Yöntemler	506
<i>Different Techniques Used To Determine Bond Work Index</i> A. Aydın	
Kalsit Madenciliğinin Mevzuattaki Gelişimi ve Sektördeki Durumu.....	514
<i>Development in the Legislation and Situation in the sector of Calcite Mining</i> B.G. Demir, A. Akbulut & N. Güngör	
Taş Ocakları Nizamnamesi ve Güncel Mevzuat	519
<i>Quarry Directory and Current Regulations</i> Ö. Günay	
Türkiye'deki Agregat Üretimi ve Sorunlarına Genel Bakış	527
<i>Aggregate Production and Overview of the Issues in Turkey</i> R. Kocaman, H. Kurtcu & B. Kocaman	
Bazaltın Polarize Enerji Dağılımlı X-ışınları Floresans Spektroskopisi ile Analiz Şartlarının Belirlenmesi	538
<i>Analysis of Basalt Samples by Polarized Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectroscopy</i> İ. Üstündağ	
Yazar İndeksi(Author Index)	541

***Kırmetaş Hammadde Kaynakları ve Mühendislik
Özellikleri***
(Aggregate Deposits and Engineering Properties)

Bazalt Kayacının Tek Eksenli Sıkışma Dayanımının Tahribatsız Test Yöntemleri ile Tahmini: Trabzon-Maçka Bölgesi

Prediction of Uniaxial Compressive Strength of Basaltic Rock by Non-destructive Test Methods: Trabzon-Maçka Region

T. Yılmaz

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET: Bu çalışmada Schmidt sertlik çekici (SHV) ve ultrasonik P-dalga hızı (UPV) ile tek eksenli sıkışma dayanımı (TEBD) arasındaki ilişkiler incelenmiş ve tek eksenli sıkışma dayanımının dolaylı olarak tahmin edilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla Trabzon-Maçka bölgesinden bazalt blokları getirilmiş ve NX çaplı karotlar alınmıştır. Alınan karot örneklerinin sırasıyla SHV, UPV ve TEBD testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda örneklerin sertlik çekici sınıflaması; “sert”, UPV sınıflaması; “yüksek hızlı” ve TEBD sınıflaması; “orta dayanımlı” olarak belirlenmiştir. Ayrıca kayacın SHV testinden elde edilen dolaylı TEBD değeri ölçülen TEBD’ye göre yakın çıkmıştır. SHV-TEBD ve UPV-TEBD arasında yüksek korelasyon katsayılarına ($r \geq 0,87$) sahip doğrusal ilişkiler elde edilmiştir. SHV-TEBD ve UPV-TEBD grafiklerine ait korelasyon katsayılarının ve doğru denklemlerinin güvenilirliğini belirlemek için *t*- ve *F*- testleri yapılmış ve ilişkilerin anlamlı olduğu ortaya konmuştur.

ABSTRACT: In this study, the relations among Schmidt hammer hardness (SHV), ultrasonic pulse velocity (UPV) and uniaxial compressive strength (UCS) were analyzed and the prediction of UCS was investigated. For this purpose, basaltic blocks were brought from Trabzon-Maçka region and drilling cores having NX diameter were extracted. The SHV, UPV and UCS tests of core specimens were performed, respectively. As a result of this tests, the classifications of Schmidt hardness, UPV and UCS were determined as “hard”, “high-speed” and “medium strong”, respectively. The UCS value of rock obtained from SHV was also close in comparison with measured UCS value. The linear relations having strong correlation coefficients ($r \geq 0.87$) between SHV-UCS and UPV-UCS were obtained. Student’s *t*- and *F*- (Anova) tests practiced for the determination of the significance of *r* values and fitting equations of SHV-UCS and UPV-UCS graphs and it was presented that the relationships between SHV-UCS and UPV-UCS are significant.

1 GİRİŞ

Kaya mekaniği ve mühendislik jeolojisi uygulamalarında yaygın olarak kullanılan parametrelerden birisi olan tek eksenli sıkışma dayanımı testinin yapılması kayaçların yenilme özelliklerinin belirlenmesi ve kaya kütle sınıflamaları için oldukça önemlidir (Başarı vd., 2004; Karaman vd., 2011). Fakat bazı durumlarda bu testi gerçekleştirmek için numune hazırlamak ve testi gerçekleştirmek zor, zaman alıcı ve

pahalı olabilmektedir. Bu yüzden numune hazırlaması ve uygulanması daha kolay, basit ve zaman almayan yöntemler olan Schmidt sertlik çekici testi (SHV), ultrasonik P-dalga hızı testi (UPV), nokta yükleme testi (Is(50)) vb. deney yöntemleri sıklıkla kullanılmaya başlamıştır.

Schmidt çekici sertlik testi (SHV); basit, hızlı, ucuz ve hasarsız test yöntemi olduğu için kaya mekaniği uygulamalarında 1960’ların başından beri indeks test olarak

kayaçların sertliğinin belirlenmesi ve tek eksenli sıkışma dayanımı ve diğer mekanik özelliklerinin tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır (Sabatakakis vd., 2008; Sengun vd., 2011). SVH testi başlangıçta etkin olarak mühendislik malzemesi olan betonun yüzey sıçrama sertliğini belirlemek için geliştirilmiş ve daha sonra kayaçlar ve doğal malzemeler için adapte edilmiştir (Schmidt 1951; Eberhardt 2004).

Ultrasonik P- dalga hızı testi (UPV), hasarsız, güvenilir, ucuz ve kolay uygulanabilen bir metot olmasından dolayı son yıllarda hem laboratuvar hem de arazi koşullarında kaya ve/veya çimento içerikli malzemelerin jeomekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan en popüler tekniklerden birisidir. Kaya ve çimento içerikli malzemelerin ultrasonik P- dalga hızı, bozulmamış kıyık ve el yapımı beton özellikleri ile yakından ilişkili olduğu için P- dalga hızı bilirse, ultrasonik ve mekanik özellikler arasındaki bilinen ilişki kullanılarak geoteknik özelliklerdeki değişim belirlenebilir (Khandelwal ve Ranjith, 2010; Yılmaz vd., 2014).

1.1 Literatür

Çalışmaya konu olan basit ve tahribatsız test yöntemleri (Schmidt sertlik çekici testi, ultrasonik P-dalga hızı testi vb.) ile birçok farklı alanda tek eksenli sıkışma dayanımı tahminine yönelik son yıllarda çok sayıda çalışma yapılmıştır.

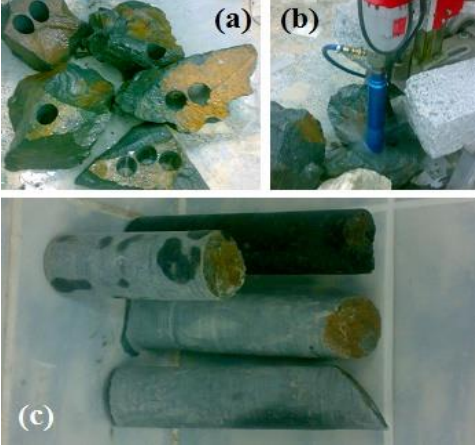
Yılmaz ve Sendir (2002), Schmidt sertlik çekici testini kullanarak alçıtaşı kayaçlarının tek eksenli sıkışma dayanımı ve young modülü değerlerini hesaplamış ve elde ettiği eşitlikleri diğer çalışmalarla karşılaştırmıştır. Başka bir çalışmada yazarlar dolaylı testleri (Schmidt sertlik çekici, nokta yükleme dayanımı ve Shore sertlik testi) kullanarak kayaçların sıkışma dayanımını tahmin etmeye çalışmışlardır (Yaşar ve Erdoğan 2004). Bazı araştırmacılar, yapı taşlarının bozunma-ayırışma derinliğinin tahmini (Zezza, 1993; Chararas, 2003) ve Ankara andezitinin bozunma derecesini belirlemek (Karpuz ve Paşamehmetoğlu, 1997) için ultrasonik P- dalga hızı testini kullanmışlardır. Chary vd.

(2006), kayaçların mühendislik özelliklerini (kırılabilirlik, sertlik ve kırılma tokluğu) tahmin etmek için P- dalga hızını ölçmüşlerdir. Ayrıca Kahraman (2007), yapı taşlarının plaka üretim verimliliğinin tahmininde ve kalite sınıflamasında UPV testinin kolayca uygulanabileceğini belirtmiştir. Diğer bir taraftan Başarır vd. (2004) kayaç örnekleri üzerinde nokta yükleme dayanım indeksi, Schmidt çekici ve sonic hız deneyleri ve tek eksenli basma dayanım deneylerini yapmışlar ve kayanın tek eksenli basma dayanımı ile basit deney yöntemleri arasında ilişkiler kurmayı amaçlamışlardır. Karaman vd. (2011) ise farklı bölgelerden temin edilen 5 farklı kayacın tek eksenli sıkışma dayanımını L tipi Schmidt çekici kullanılarak dolaylı yoldan belirlemeye yönelik yaptığı çalışmada, silindirik numunelerin sertlik değerlerini ölçmüş, dolaylı olarak tek eksenli sıkışma dayanımlarını belirlemiş ve laboratuvarla elde edilen dayanım sonuçlarıyla karşılaştırarak kayaçlar için en uygun değerlendirme yöntemini belirlemeye çalışmışlardır. Sharna ve Singh (2008), farklı tipteki kayaçların P- dalga hızı ve diğer mekanik özellikleri (darbe dayanımı, suda dağılmaya karşı dayanıklılık testi ve tek eksenli sıkışma dayanımı) arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Bununla birlikte, V_p testi maden tüneli etrafındaki gerilme dağılımının ve tünel kazısından kaynaklanan hasar sıklığının tahmininde (Wright vd., 2000), bir kaya yapısında patlatma/parçalanma verimliliğinin (Turk ve Dearman, 1987) ve kayaçların ısıletkenliğinin belirlenmesinde (Özkahraman vd., 2004) kullanılmıştır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada bazalt örneklerinin tahribatsız test yöntemleri olan Schmidt sertlik çekici ve ultrasonik P-dalga hızı testleri ile tek eksenli sıkışma dayanımı testleri yapılarak aralarındaki ilişkiler incelenmiş tek eksenli sıkışma dayanımının dolaylı olarak tahmin edilebilirliği incelenmiştir. Bu amaçla Trabzon-Maçka bölgesinden bazalt blokları (Şek. 1a) laboratuvara getirilmiş ve karotiyer (Şek. 1b) yardımıyla 10 adet NX çaplı karotlar

(Şek. 1c) alınmıştır. Alınan karotlar karot düzeltme cihazında alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel olacak şekilde düzeltilmiş ve boy/çap oranı 2,0-2,5 olacak şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 1. Bazalt bloklarının (a), karot alma işleminin (b) ve alınan karotların (c) görünümü

2.1 Schmidt Sertlik Çekici Testi

Kayaçların Schmidt sertliği değerini belirlemek ve tek eksenli sıkışma dayanımını tahmin etmek için kullanılan Schmidt sertlik çekici testi 10 adet NX çaplı karot örneği (Şekil 2a) üzerinde ASTM D 5873 (2001) yöntemine göre L tipi sertlik çekici ile düşey-aşağı yönlü olarak gerçekleştirilmiştir (Şek. 2b). Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki ve sıkışma dayanımının tahmininde, Deere ve Miller (1966) tarafından hazırlanan abaktan yararlanılmıştır (Şek. 3). Ayrıca bazalt

örneklerinin ölçülen Schmidt sertlik değerleri ISRM 1978'de yapılan kayaç sertlik sınıflaması tablosuna (Tablo 1) göre değerlendirilmiş ve kayacın sertlik sınıfı belirlenmiştir.

2.2 Ultrasonik P- Dalga Hızı Testi

Hazırlanan karot örneklerinin ultrasonik P-dalga hızı testleri, ASTM D 2845 (2008) standartlarına uygun olarak 0,1µs hassaslıkta sinyal süresine ve 54 kHz sinyal frekansına sahip Pundit-Plus model test cihazı ile yapılmıştır (Şek. 2c). Test yöntemi olarak daha güvenli olduğu ve doğru sonuçlar verdiği için doğrudan iletim (geçiş) tekniği kullanılmış ve numunelere temas ettirilen gönderici ve alıcı jeofonlara herhangi bir baskı uygulanmamıştır. Numunelerin boyu (uzunluk) 0,1mm hassaslığa sahip kumpas ile ölçülerek kaydedilmiştir. Daha sonra ölçüm yapılacak numunenin alt ve üst yüzeyleri ile alıcı ve gönderici jeofon arasında sağlıklı bir bağlantı kurmak ve hava boşluklarını engellemek için jeofonların yüzeyleri vazelin ile kaplanmıştır. Alınan okumalar sonucunda en düşük geçiş süresi test sonucu olarak kaydedilerek ultrasonik P- dalga hızı belirlenmiştir.

2.3 Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Testi

Tahratsız test ölçümleri yapılan karot örnekleri ASTM D7012 (2014) standartlarına uygun olarak 3000 kN maksimum yük kapasitesine ve 1kN/s yükleme hızına sahip ELE marka bilgisayar kontrollü sıkışma ve deformasyon ünitesinde tek eksenli sıkışma dayanımına tabi tutulmuştur (Şekil 2d).

Tablo 1. SHV (ISRM, 1978), TEBD (Deere ve Miller 1966) ve UPV testine (Anon, 1979) göre kayaçların sınıflandırılması

Schmidt Sertlik çekici değeri	Sertlik sınıflaması	TEBD değeri (MPa)	Dayanım sınıflaması	UPV değeri (m/s)	Hız sınıflaması
0-10	Yumuşak	1-25	Çok düşük dayanımlı	<2500	Çok düşük
10-20	Az yumuşak	25-50	Düşük dayanımlı	2500-3500	Düşük
20-40	Az sert	50-100	Orta dayanımlı	3500-4000	Orta
40-50	Sert	100-200	Yüksek dayanımlı	4000-5000	Yüksek
50-60	Oldukça sert	>200	Çok yüksek dayanımlı	>5000	Çok yüksek
>60	Çok sert				



Şekil 2. Alınan karotların (a), SHV testinin (b) UPV testinin (c) ve TEBD ünitesinin (d) görünümü

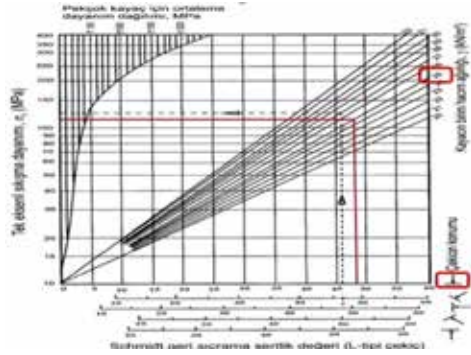
3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Trabzon-Maçka yöresine ait bazalt karot örneklerinin Schmidt sertlik çekici, ultrasonik P-dalga hızı ve tek eksenli sıkışma dayanımı sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir. Kayacın ortalama Schmidt sertlik değeri (SHV) 47,2, ultrasonik P- dalga hızı (UPV) değeri 4867 m/s ve tek eksenli sıkışma dayanımı (TEBD) 99,1 MPa olarak ölçülmüştür. Ayrıca kayacın birim hacim ağırlığı 25 kg/m³ olarak bulunmuştur.

Tablo 2. Örneklerin SHV, UPV ve TEBD sonuçları

Numune No	Boy/çap oranı	SHV değeri	UPV (m/s)	TEBD (MPa)
1	2,16	50	5611	171
2	2,30	47	4132	61
3	2,31	47	4166	64
4	2,44	48	4973	112
5	2,38	45	4833	52
6	2,44	47	4935	91
7	2,13	48	4856	129
8	2,08	49	5854	158
9	2,36	45	4586	54
10	2,25	46	4726	99
Ort.		47,2	4867,2	99,1

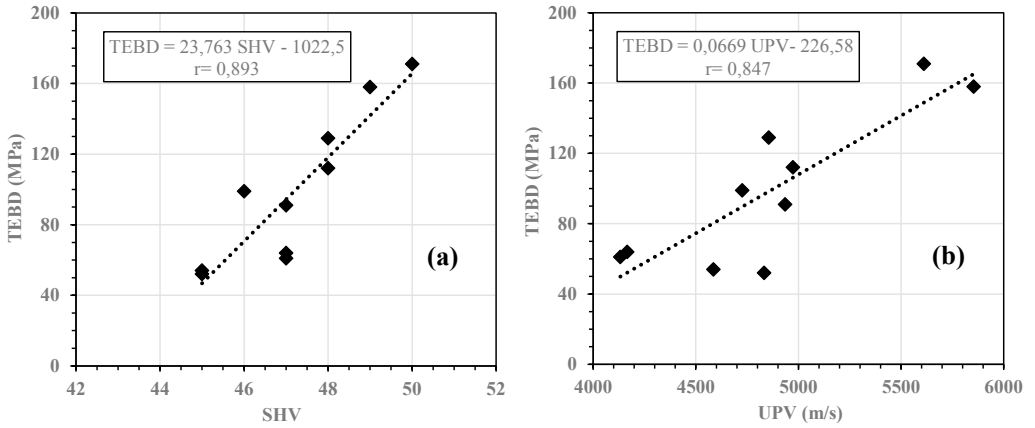
Bazalt kayacına ait birim hacim ağırlık değeri ile Schmidt sertlik değeri, Deere ve Miller (1966) tarafından geliştirilen Schmidt sertliği ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki abağında çakıştırıldığında kayacın dolaylı sıkışma dayanımının yaklaşık 110 ± 5 MPa olarak çıktığı görülmüştür (Şek. 3).



Şekil 3. SHV ile TEBD arasındaki abak ile belirlenen TEBD (Deere ve Miller 1966)

3.1 İstatistiksel Analiz

Yapılan birçok çalışmada basit ve tahribatsız test yöntemlerinden yararlanarak bilinmeyen değişkenleri tahmin etmeye yönelik basit veya karmaşık analizler içeren farklı regresyon teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Kahraman, 2001; Yaşar ve Erdoğan, 2004; Başarır vd., 2004; Sharna ve Singh, 2008; Trtnik vd., 2009; Yağız, 2011; Ercikdi vd., 2014; Yılmaz ve Ercikdi 2016). Bu çalışmada, Schmidt sertlik çekici (SHV) ve ultrasonik P- dalga hızı testleri (UPV) ile tek eksenli sıkışma dayanımı (TEBD) arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için ampirik (deneysel) eşitliklerin korelasyon katsayıları (r) Microsoft Excel yardımıyla hesaplanmış, SHV ve UPV testlerinden TEBD'nin tahmin edilebilirliğini araştırmak için %95 güven aralığında ($\alpha < 0,05$) regresyon analizleri (t-test ve F-test) yapılmıştır. SHV-TEBD ve UPV-TEBD ilişkisinin incelendiği grafiklerin (Şek. 4a, b) korelasyon katsayıları (r) ve eşitlikler Tablo 3’de özetlenmiştir. En uygun ilişki, doğrusal (lineer) ilişki metoduyla sağlanmıştır.



Şekil 4. SHV-TEBD ilişkisi (a) ve UPV-TEBD ilişkisi (b)

Şekil 4’de gösterilen grafikler incelendiğinde Schmidt sertlik değeri (SHV) - tek eksenli sıkışma dayanımı (TEBD) ($r=0,893$; Şek. 4a) ve ultrasonik P- dalga hızı (UPV) - tek eksenli sıkışma dayanımı (TEBD) ($r=0,847$; Şek.4b) arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve korelasyon katsayılarının oldukça yüksek çıktığı görülmektedir. Her iki grafikte de SHV ve UPV değerleri arttıkça TEBD’nin arttığı gözlemlenmiştir.

Başarı vd. (2004) aldığı çok sayıda blok kayaç örneği üzerinde SHV-TEBD ve UPV-TEBD ilişkilerini çalışmış ve her iki incelemede de korelasyon katsayısını (R^2) 0,66 olarak bulmuş ve buradan incelemiş olduğu 10 örneğin %66’sının eşitlik tarafından açıklanacağını belirtmiştir. Buyuksagis ve Goktan (2007) 27 farklı kayaç (granit, mermer, kireçtaşı ve traverten) ile hazırladığı prizmatik blok örneklerini kullandığı çalışmasında SHV-TEBD ilişkisini 2 farklı çekiç tipi (L tipi ve N tipi) ve 5 farklı yöntemle (ISRM 1978, ASTM 2001, Poole ve Farmer 1980, Hucka 1965 ve Goktan ve Ayday 1993) göre araştırmış ve bütün yöntemlerde ve her iki sertlik çekici tipinde

oldukça yüksek korelasyon katsayılarına ($R^2=0,85-0,95$) sahip ilişkiler elde etmiştir. Diğer bir taraftan Farklı kayaçlardan (sedimanter, metamorfik vb.) alınan karot örnekleri üzerinde yapılan UPV-TEBD arasındaki ilişkileri inceleyen Yaşar ve Erdoğan (2004); korelasyon katsayısını (r) 0,80, Sharna ve Singh (2008); 0,90, Yağız (2011); 0,92 ve Altındağ (2012); 0,76 elde etmişlerdir. Bu çalışmada da önceki araştırmacılar ile benzer olarak yüksek korelasyon katsayılarına ($r \geq 0,87$) sahip güçlü ilişkiler elde edilmiştir. Elde edilen ilişkilere ait korelasyon katsayılarının (r) anlamlı olup olmadığını belirlemek ve eşitliklerin (denklemlerin) anlamlı olup olmadığını belirlemek için, SPSS Statistics 17.0 programı yardımıyla t -testi ve F -testi (Anova-regresyon testi) yapılmıştır. Yapılan testler, hesaplanan değerler (t_{hesap} ve F_{hesap}) ile tablodan belirlenen değerlerin (t_{tablo} ve F_{tablo}) karşılaştırılmasına dayanmaktadır (Tüysüz ve Yaylalı-Abanuz, 2012). Bu bağlamda değerlendirilen tüm eşitliklerin korelasyon katsayılarının ve tüm grafiklerin denklemlerinin (eşitlikleri) anlamlı olduğuna karar verilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. SHV-TEBD ve UPV-TEBD grafiklerine ait eşitlikler, korelasyon katsayıları (r) ve t-test ve F- test sonuçları

Eşitlik No	Sıkışma Dayanımı Eşitliği ($y= ax\pm b$)	Korelasyon Katsayısı (r)	t_{Hesap}	t_{Tablo}	F_{Hesap}	F_{Tablo}
(1)	TEBD= 23,763 SHV - 1022,5	0,893	5,620	$\pm 2,31$	31,590	
(2)	TEBD= 0,0669 UPV- 226,58	0,847	4,505		20,291	3,44

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada Trabzon-Maçka bölgesinden bazalt blokları getirilmiş ve NX çaplı karotlar alınmıştır. Alınan karot örneklerinin sırasıyla Schmidt sertlik çekici, ultrasonik P-dalga hızı ve tek eksenli sıkışma dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda örneklerin sertlik çekici sınıflaması; “sert”, UPV sınıflaması; “yüksek hızlı” ve TEBD sınıflaması; “orta dayanımlı” olarak belirlenmiştir. Kayacın SHV testinden elde edilen dolaylı TEBD değeri ölçülen TEBD’ye göre yakın çıkmıştır. Ayrıca örneklerin Schmidt sertlik çekici (SHV) ve ultrasonik P-dalga hızı (UPV) ile tek eksenli sıkışma dayanımı (TEBD) arasındaki ilişkiler incelenmiş ve SHV-TEBD ve UPV-TEBD arasında yüksek korelasyon katsayılarına ($r \geq 0,87$) sahip doğrusal ilişkiler elde edilmiştir. SHV-TEBD ve UPV-TEBD grafiklerine ait korelasyon katsayılarının ve doğru denklemlerinin güvenilirliğini belirlemek için t- ve F- testleri yapılmış ve ilişkilerin anlamlı olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

Altındag, R, 2012. Correlation between P-wave velocity and some mechanical properties for sedimentary rocks, Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 34, 4, 947–953.

Anon, 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part 1-rock and soil materials, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 19, 364-371.

ASTM D 2845, 2008. Standard test method for pulse velocity through rock, Annual Book of ASTM Standards, American Society of Testing Material.

ASTM D 5873, 2001. Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method, Annual Book of ASTM Standards, American Society of Testing Material.

ASTM D 7012, 2014. Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures, Annual Book of ASTM Standards, American Society of Testing Material.

Başarır, H, Kumral, M, Özsan, A, 2004. Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımının basit deney yöntemleriyle tahmini, VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, pp. 111-117, 21-22 Ekim 2004, Sivas, Türkiye

Büyüksağış, İS, Gökten, RM, 2007. The effect of Schmidt hammer type on uniaxial compressive strength prediction of rock, International Rock Mechanics and Mining Sciences, 44, pp 299-307.

Chary, K.B, Sarma, L.P., Prasanna Lakshmi, K.J, Vijayakumar N.A, Naga Lakshmi V, Rao, M.V.M.S, 2006. Evaluation of engineering properties of rock using ultrasonic pulse velocity and uniaxial compressive strength, Proceedings. National Seminar on non-destructive evaluation.

Christaras, B, 2003. P- wave velocity and quality of building materials, Proceedings of the international symposium industrial minerals and building stones, pp. 295-300, İstanbul.

Deere, DU, Miller, RP, 1966. Engineering classifications and index properties of intact rock, Tech. Report No. AFWL-TR 65-116, Universty of Illinois.

Eberhardt, E, 2004. White paper on the Schmidt Hammer and its applicability to landslide investigations. Internal Newsletter of the Multinational Andean Project: Geoscience for Andean Communities, 3, 12, March 2004, Vancouver, Canada.

Ercikdi, B, Yılmaz, T, Külekçi, K, 2014. Strength and ultrasonic properties cemented paste backfill, Ultrasonics 54, 1386–1394.

ISRM, 1978. Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness of Rocks, International Rock Mechanics and Mining Sciences, Geomech. Abstr, 15, pp. 89- 97.

Kahraman, S, 2001. Evaluation of simple methods for assessing the uniaxial compressive strength of rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 38, 981–994.

Kahraman, S, 2007. A quality classification of building stones from P-wave velocity and its application to stone cutting with gang saws,

- Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 107, 427–430.
- Karaman, K, Ercikdi, B, Cihangir, F, Kesimal, A, 2011. Kayaçların Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Tahmininde Schmidt Çekici Yöntemlerinin İncelenmesi, Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, pp.87-94, 11-13 Mayıs 2011, Ankara, Türkiye.
- Karpuz, C, Paşamehmetoğlu, A.G., 1997. Field characterisation of weathered Ankara andesites, Engineering Geology, 46, 1–17.
- Khandelwal, M, Ranjith, P.G., 2010. Correlating index properties of rocks with P-wave measurements, Journal of Applied Geophysics, 71, 1–5.
- Özkahraman, H.T., Selver, R, Işık, E.C., 2004. Determination of the thermal conductivity of rock from P-wave velocity, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 41: 703–708.
- Sabatakakis, N, Koukis, G, Tsiambaos, G, Papanakli, S, 2008. Index properties and strength variation controlled by microstructure for sedimentary rocks, Engineering Geology, 97, 80–90.
- Schmidt, E, 1951. A non-destructive concrete tester, Concrete, 59, 8, 34–5.
- Sengun, N, Altindag, R, Demirdag, S, Yavuz, H, 2011. P-wave velocity and Schmidt rebound hardness value of rocks under uniaxial compressional loading, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 48, 693–696.
- Sharna, P.K, Singh, T.N., 2008. A correlation between P- wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength, Bulletin Engineering Geology and the Environment, 67: 17-22
- Trtnik, G, Kavcic, F, Turk, G, 2009. Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks, Ultrasonics, 49, 53–60.
- Turk, N, Dearman, W.R., 1987. Assessment of grouting efficiency in a rock mass in terms of seismic velocities, Bulletin Engineering Geology and the Environment, 36, 1, 101–108.
- Tüysüz, N, Yaylılı - Abanuz, G, 2012. Jeostatistik; Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar, 2. Baskı, KTÜ Matbaası, Trabzon, 382 s.
- Wright, C, Walls, E.J., Carneiro, D.J., 2000. The Seismic Velocity Distribution in the Vicinity of a Mine Tunnel at Thabazimbi, South Africa. Journal of Applied Geophysics, 44, 4, 369–382.
- Yagız, S, 2011. P-wave velocity test for assessment of geotechnical properties of some rock materials. Bulletin of Materials Science, 34, 4: 947–953.
- Yaşar, E, Erdoğan, Y, 2004. Correlating sound velocity with the density, compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 41, 871-875.
- Yılmaz, I, Sendir, H, 2002. Correlation of Schmidt hardness with unconfined compressive strength and Young's modulus in gypsum from Sivas (Turkey), Engineering Geology, 66, 211-219.
- Yılmaz T, Ercikdi B, Karaman K, Külekçi K, 2014. Assessment of strength properties of cemented paste backfill by ultrasonic pulse velocity test, Ultrasonics, 54, 1386–1394.
- Yılmaz, T, Erçikdi, B, 2016. Predicting the uniaxial compressive strength of cemented paste backfill from ultrasonic pulse velocity test, Nondestructive Testing and Evaluation, DOI: 10.1080/10589759.2015.1111891.
- Zeza, F, 1993. Evaluation criteria of the effectiveness of treatments by nondestructive analysis, Proceedings of the 2nd course of CUN university school of Monument conservation, Heraklion, pp. 198-207.

Kırmataş Kökenli Dolgu Malzemelerinin Sıkışma Performanslarının Değerlendirilmesi

Evaluation of Compaction Performance of Aggregate Originated Filling Material

İ. Çobanoğlu, S.B. Çelik

Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kınıklı - Denizli

ÖZET Karayolu, otoyol, köprü, otopark ve diğer mühendislik yapılarında istenen zemin ve inşaat koşullarının sağlanması amacıyla dolgu malzemeleri sıklıkla kullanılmaktadır. Uygun tasarımların yapılması durumunda kırmataş kökenli agregalar ile nitelikli dolgular teşkil edilebilmektedir. Bu çalışmada, ülkemizdeki farklı mühendislik projelerinde kullanılan ve kullanılmakta olan 8 ayrı kırmataş kökenli dolgu malzemesinin sıkışma parametreleri ortaya konulmuştur. Yetersiz ince tane muhtevasına sahip dolgularda sıkışma için gerekli enerjinin sağlanamamış olması arazi uygulamalarında da problemlere neden olmaktadır. Bu çalışma ile incelenen kırmataş agregaların çoğunluğu kireçtaşı litolojisinde ve ince tane oranlarının % 0.65 – 3.71 arasında oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, ince tane içeriğine bağlı olarak sıkıştırma için gerekli optimum su muhtevası ve dolayısı ile maksimum kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin farklılık göstermesine neden olmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalar, incelenen kırmataş kökenli dolgu malzemeleri için optimum su içeriği değerlerinin % 2.00 – 21.00 arasında ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarının 1.565 – 2.265 gr/cm³ değerleri arasında değişmekte olduğunu ortaya koymuştur. Granüler dolgu malzemelerin kırmataş tesislerinde üretilmeleri nedeniyle uygun miktarda ve mineralojik özellikte ince tane içeriğine sahip olmadıkları görülmektedir. Oysa bir dolgunun kompaksiyon şeklinde sıkışabilmesi için mutlaka kil mineralojisinde ince tane katkısına ihtiyaç bulunmaktadır. Yapılan deneysel çalışma, dolgu içinden taş unu niteliğindeki ince tanenin alınarak yerine aynı oranda kil katılması ile dolgunun bütünlüğünü büyük ölçüde arttırdığını da ortaya koymuştur.

ABSTRACT In order to obtain the desired soil and construction conditions filling materials are often used in road, highway, bridge, parking and other engineering applications. In case of appropriate design, qualified fillings by using crushed stones can be constituted. In this study, compaction parameters of 8 different crushed stone filling materials which are being used in different engineering applications in Turkey were studied. Lack of fines content in a filling material need higher compaction energy and when this energy could not be provided some problems in field application may occur. In this study examined crushed stone aggregates are limestone originated and fines contents are found to be very low ranging from 0.65 - 3.71 %. This situation causes to obtain different optimum water contents for compaction and also obtain maximum dry unit weights. In experimental studies it is found that the optimum water contents and maximum dry unit weights of examined filling materials are ranging between 2.0-21.0 % and 1.565-2.265 g/cm³ respectively. Granular filling materials are produced in stone crushing facilities for this reason it is seen that these materials are lack of proper amount of fines and proper mineralogical properties. However, for proper

compaction, fines content with clay mineralogy is needed. This study demonstrates that quality of filling material can be increased by replacing the fines content which is also called "stone flour" with clay materials in same amount.

1 GİRİŞ

1.1 Dolgu Malzemeleri

Mühendislik uygulamalarında dolgu malzemelerinin kullanılması oldukça eskidir. Bu husus, bu amaçla geliştirilmiş sıkıştırma amaçlı ekipmanlardan da anlaşılmaktadır. Baraj kil çekirdeklerinin geçirimsizliği sağlayacak şekilde sıkıştırılarak serilmesi, karayolu, otoyol ve demiryollarının teşkil edilmiş dolgular üzerinde yer alması konunun önemini ortaya koymaktadır.

Bu amaçla kullanılan ve çeşitli tane boylarındaki malzemelerin bir araya gelerek oluşturdukları doğal malzemeye "dolgu" adı verilmektedir. Dolgu malzemelerin esas kaynağı kırmataş agrega üreten tesislerdir. Bu malzemeler yapılması planlanan işe uygun olacak şekilde üretilir ve yerinde uygulanırlar. Ülkemizde özellikle karayolları için kullanılacak yol dolgularının serim ve sıkıştırma işlemleri KGM Teknik Şartnamesi (2013) tarafından standartlaştırılmıştır.

1.2 Kırmataş Dolgu Malzemesi Özellikleri

KGM (2013) doğu malzemelerinin kullanılması koşulu için gerekli özellikleri sunmaktadır. İlgili şartnamenin hem TS 1900-1 ve hem de AASHTO T deney standartlarını (T-89, T-90, T-99 ve T-193) kullandığı görülmektedir. KGM (2013) şartnamesi, dolguda kullanılacak malzeme özelliklerini Tablo 1'deki şekliyle sunmaktadır.

Tablo 1. Dolguda kullanılacak malzeme özellikleri (KGM, 2013).

Deney Adı	Şartname	
	Limiti	Deney Standardı
Likit Limit (LL), %	≤ 60	TS 1900-1, AASHTI T - 89
Plastisite İndisi (PI), %	≤ 35	TS 1900-1, AASHTI T - 90
Maks. Kuru Birim Hacim Ağırlık	≥ 1.450 t/m ³	TS 1900-1, AASHTI T - 99
Yaş CBR Şişme	≤ 3	TS 1900-1,
Yüzdesi, %		AASHTI T - 193

Kırmataş kökenli dolguların sıkıştırılması konusu KGM (2013) şartnamesinde "Granüler Malzemelerin Sıkıştırılması" başlığı içinde ele alınmıştır. Bu tür dolgular AASHTO (Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemi) sınıflandırma sisteminde A-1, A-2 ve A-3 sınıfına giren malzemelerden oluşmaktadır. Hogentogler ve Terzaghi (1929) tarafından geliştirilmiş olan bu sınıflama sistemine baktığımızda 200 no'lu elekten geçen miktarın maksimum % 35 olduğu görülmektedir. Bu malzemelerin geneli iri taneli (ince tanesi olan kum - çakıl) olarak isimlendirilmektedir. USCS sınıflama sisteminde ise, 200 no'lu elekten geçen malzeme yüzdesinin < 50 olması durumu, zemini iri taneli olarak sınıflandırmaktadır. Bu açıdan bakıldığında her iki sınıflama arasında belirgin bir farklılık bulunmaktadır. Konu ile ilgili çalışanların ve uygulayıcıların bu farklılıkları bilmesi önem taşımaktadır. Nitekim Liu (1967) AASHTO ve USCS sınıflama sistemlerini korele edecek şekilde incelemiş ve Tablo 2'deki haliyle ortaya koymuştur.

Bilindiği üzere 75 mm'den büyük taneler içeren malzemelerle yapılan dolgularda sıkışmanın kontrolü için geçerli bir metot bulunmamaktadır. Bu tür durumlarda tabaka içinde var olan ve 75 mm'den daha küçük tanelerin olduğu bölgelerde kum konisi deneyleri ile sıkışma kontrolleri yapılabilir.

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışma kapsamında, kırmataş kökenli olup, çeşitli mühendislik çalışmalarında dolgu malzemesi olarak seçilmiş olan farklı gradasyona sahip dolgu malzemelerinin sıkışma parametreleri yapılan deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Laboratuvarda gerçekleştirilen kompaksiyon deneylerinin bütününde standart proktor enerjisi ile sıkıştırmalar yapılmış ve ilgili deney standardı olan ASTM D 698 (2007) uygulanmıştır. Kullanılan malzemelere ait zemin grupları ise USCS sınıflandırma yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

2.1. Dolgu Sıkıştırma Deneylerine Ait Standartlar

Proktor deneyi adı ile bilinen sıkıştırma test işlemleri ilk kez 1930 yılında RR. Proctor

isimli araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur.

Tablo 2. AASHTO zemin sınıflama sistemine karşılık gelebilecek USCS zemin sembollerinin gösterimleri (Liu, 1967).

AASHTO Sistemi	USCS Grup Sembolleri Karşılaştırması		
	Çok Uygun	Olası	Olası ancak uygun değil
A-1-a	GW, GP	SW, SP	GM, SM
A-1-b	SW, SP, GM, SM	GP	---
A-3	SP	---	SW, GP
A-2-4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP
A-2-5	GM, SM	---	GW, GP, SW, SP
A-2-6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP
A-2-7	GM, GC, SM, SC	---	GW, GP, SW, SP
A-4	ML, OL	CL, SM, SC	GM, GC
A-5	OH, MH, ML, OL	---	SM, GM
A-6	CL	ML, OL, SC	GC, GM, SM
A-7-5	OH, MH	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A-7-6	CH, CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, GM, SM

Proctor, zeminin farklı su içeriğinde sıkışmasını deneysel olarak ortaya koymuş ve kendi adıyla bilinen deney yöntemini geliştirmiştir. Sonrasında bu test yöntemi farklı ülkeler tarafından standartlaştırılarak geliştirilmiş ve yaygın bir şekilde kullanım alanı bulmuştur. AASHTO T 99 (2015),

AASHTO T 180 (2015), ASTM D-698 (2007) standartları sıkıştırma testleri ile ilgili deney detaylarını tanımlamaktadır (Tablo 3). Tablo 3, deney için tane boyu sınırlamalarının olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 3. Farklı standartlar tarafından önerilmiş olan sıkıştırma deney bilgileri.

ASTM Standardı	AASHTO Standardı	Sıkıştırma Kalıp Ölçüsü	Tokmak Ağırlığı ve Düşüşü	Tbk Sayısı ve Vuruş Adedi	Tane Boyutu Üst Sınırı
D-698 (A) ^a	T-99 (A)	4 inç, 1/30 ft ³	2.5 kg / 30 cm	3 / 25	# 4 (4.76 mm)
D-698 (B)	T-99 (B)	6 inç, 0.075	2.5 kg / 30 cm	3 / 56	# 4 (4.76 mm)
D-698 (C)	T-99 (C)	4 inç, 1/30 ft ³	2.5 kg / 30 cm	3 / 25	¾ inç (19.0 mm)
D-698 (D)	T-99 (D)	6 inç, 0.075	2.5 kg / 30 cm	3 / 56	¾ inç (19.0 mm)
D-1557 (A) ^b	T-180 (A)	4 inç, 1/30 ft ³	4.5 kg / 46 cm	5 / 25	# 4 (4.76 mm)
D-1557 (B)	T-180 (B)	6 inç, 0.075	4.5 kg / 46 cm	5 / 56	# 4 (4.76 mm)
D-1557 (C)	T-180 (C)	4 inç, 1/30 ft ³	4.5 kg / 46 cm	5 / 25	¾ inç (19.0 mm)
D-1557 (D)	T-180 (D)	6 inç, 0.075	4.5 kg / 46 cm	5 / 56	¾ inç (19.0 mm)

^aStandart proktor sıkıştırma enerjili deneyler

^bModifiye proktor sıkıştırma enerjili deneyler

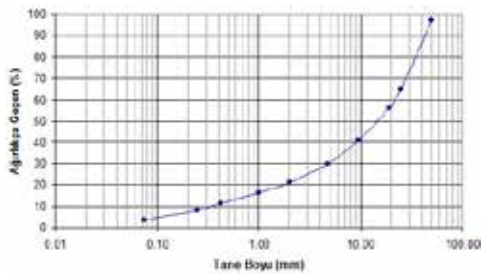
Bu sınırlamaların esas nedeni, bu amaçla taneler için uygun olmamasıdır. Ancak kullanılan laboratuvar ekipmanlarının iri uygulamalarda bu tane boyu sınırlarının

oldukça üzerinde granüler malzemelerde de sıkıştırma işlemleri yapılabilmektedir. Böylesi bir durum için ya laboratuvar verilerinin arazi verilerine veya arazi verilerinin laboratuvar verilerine göre düzeltilmesi gerekmektedir. Düzeltmelerle ilgili AASHTO T224 (2010) standardı yapılması gerekli işlemleri tanımlamaktadır. Metot D, $\frac{3}{4}$ inç'lik eleği geçen bütün agregalar için düzeltilmesiz kullanılabilir. Özellikle, $\frac{3}{4}$ inç'lik elek üzerinde kalan malzemelerin \leq % 30 olması koşulu için AASHTO T-224 (2010) standardına göre düzeltme yapılması gerekmektedir.

3. BULGULAR

Bu çalışma ile ele alınmış 8 farklı gruptaki granüler kırmataş malzemeye ait tane boyu dağılımları ile kompaksiyon parametreleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda ise bu malzemelerden Burdur – Bucak karayolunda kullanılan malzemeler üzerinde deneysel çalışmalara ait çeşitli değerlendirmelerde bulunulmuştur.

1 No'lu Malzeme: Manisa – Turgutlu yöresinden temin edilmiştir. Malzeme kireçtaşı kökenli olup tane boyu açısından iyi derecelenmiş kum sınıfında olduğu görülmüştür. Malzeme % 5.75 su içeriğinde 2.245 gr/cm^3 maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri vermiştir. Malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi ve standart kompaksiyon ile elde edilmiş proktor eğrisi Şekil 1 a ve b'de görülmektedir.

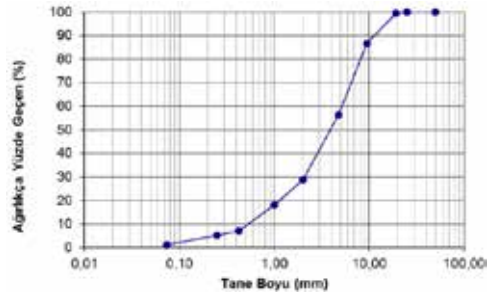


Şekil 1a. Malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi.

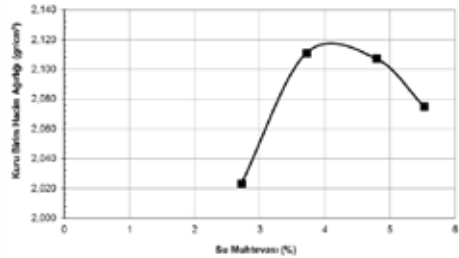


Şekil 1b. Malzemeye ait kompaksiyon eğrisi.

2 No'lu Malzeme: Manisa - Salihli bölgesinden temin edilmiştir. Kireçtaşı kökenli olan granüler malzeme, standart proktor enerjisi ile sıkıştırmada % 4.0 su içeriğinde 2.118 gr/cm^3 maksimum kuru birim hacim ağırlığının elde edilmesini sağlamıştır. Malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi ve standart kompaksiyon ile elde edilmiş proktor eğrisi Şekil 2a ve b'de görülmektedir.



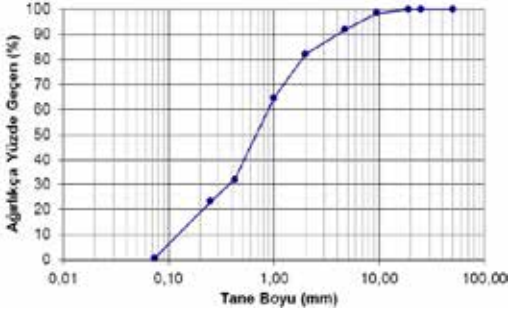
Şekil 2a. Malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi.



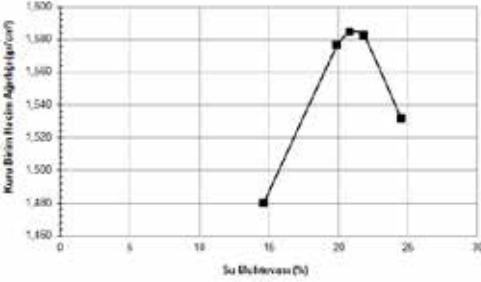
Şekil 2b. Malzemeye ait kompaksiyon eğrisi.

3 No'lu Malzeme: Eskişehir – Kırka bölgesinden temin edilmiştir. İnce çakıl ve kum boyutu malzemece zengin olan birim SW grup sembolü ile tanımlanmıştır. Standart proktor enerjisi ile sıkıştırmada % 21 su içeriğinde 1.585 gr/cm^3 maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri elde edilmiştir. Malzemeye ait tane boyu dağılım

eğrisi ve standart kompaksiyon ile elde edilmiş proktor eğrisi Şekil 3a ve b'de görülmektedir.

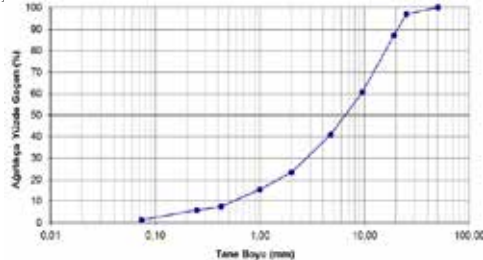


Şekil 3a. İncelenen malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi.

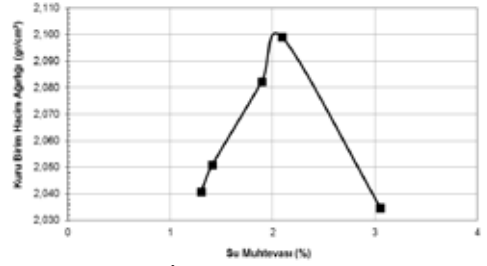


Şekil 3b. İncelenen malzemeye kompaksiyon eğrisi.

4 No'lu Malzeme: Uşak bölgesinden temin edilmiştir. Malzeme kireçtaşı kökenli olup iri tanesi fazla olan bir karışım şeklinde görülmektedir. Standart proktor enerjisi ile sıkıştırımda yaklaşık % 2.0 su içeriğinde 2.10 gr/cm^3 maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri elde edilmiştir. Malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi ve standart kompaksiyon ile elde edilmiş proktor eğrisi Şekil 4a ve b'de görülmektedir.



Şekil 4a. İncelenen malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi.

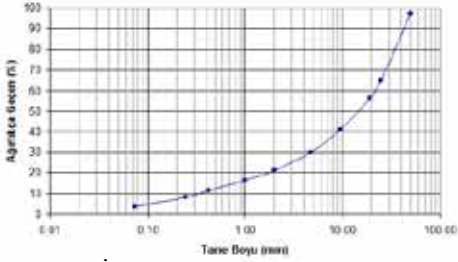


Şekil 4b. İncelenen malzemeye ait kompaksiyon eğrisi.

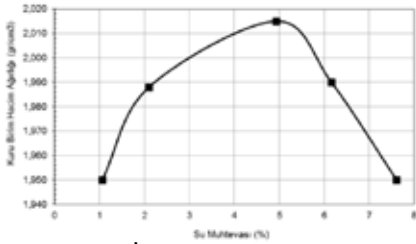
5 No'lu Malzeme: Plentmiks olarak isimlendirilen granüler malzeme Denizli bölgesinden temin edilmiştir. Malzeme, şehir içi anayolları için üst temel (base) malzemesi olarak seçilerek kullanılmıştır (Şekil 5). Granüler malzeme % 4.9 su içeriğinde 2.014 gr/cm^3 maksimum birim hacim ağırlığı elde edilmiştir. Malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi ve standart kompaksiyon deneyi ile elde edilmiş proktor eğrisi Şekil 6a ve b'de görülmektedir.



Şekil 5. Denizli ilinde üst yapı projelerinde kullanılmış olan plentmiks malzemesi.



Şekil 6a. İncelenen malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi.

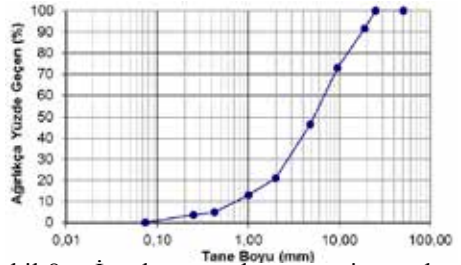


Şekil 6b. İncelenen malzemeye ait kompaksiyon eğrisi.

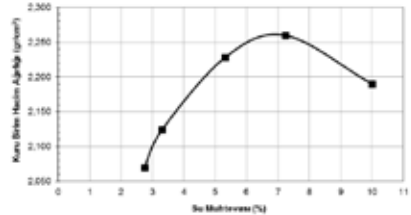
6 No'lu Malzeme: Isparta bölgesinden temin edilmiştir. Malzeme, Dinar – Isparta arası karayolu çalışmasında üst temel (base) malzemesi olarak kullanılmıştır (Şekil 7). Tane boyu dağılım analizinde GW türü iyi derecelenmiş çakıl olarak isimlendirilmiş olup, sıkıştırma testinde % 7.0 su içeriğinde 2.265 gr/cm^3 maksimum kuru birim hacim ağırlığı vermiştir. Malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi ve standart kompaksiyon ile elde edilmiş proktor eğrisi Şekil 8a ve b'de görülmektedir.



Şekil 7. Dinar – Isparta karayolunda üst temel malzemesi olarak kullanılan dolgu malzemesi ve yol çalışmalarından görünüm.



Şekil 8 a. İncelenen malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi.



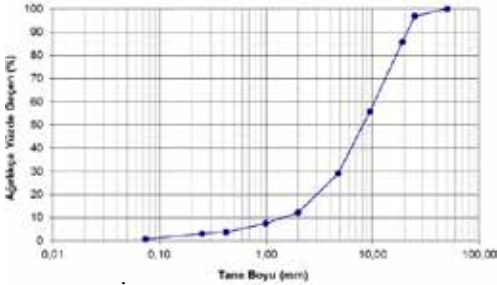
Şekil 8 b. İncelenen malzemeye ait kompaksiyon eğrisi.

7 No'lu Malzeme:

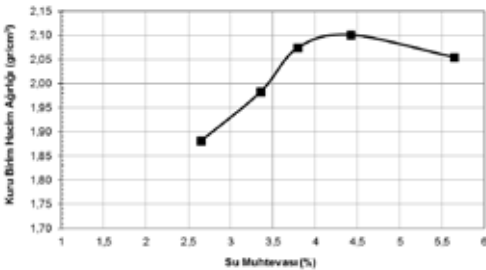
Burdur-Çeltikçi bölgesinden temin edilmiş ve bir yem fabrikasının temel içi dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır (Şekil 9). Malzeme kireçtaşı kökenli olup iri tanece zengindir. Standart proktor enerjisi ile sıkıştırmada % 4.25 optimum su içeriğinde, 2.10 gr/cm^3 maksimum kuru birim hacim ağırlığın elde edilmesi sağlanmıştır. Malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi ve standart kompaksiyon ile elde edilmiş proktor eğrisi Şekil 10a ve b'de görülmektedir.



Şekil 9. İri tane karışımı kırmataş dolgu ve uygulamanın yapıldığı temel içinin genel görünümü.



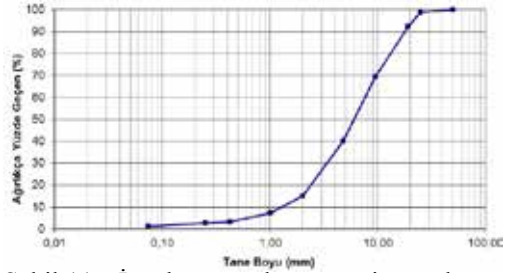
Şekil 10a. İncelenen malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi.



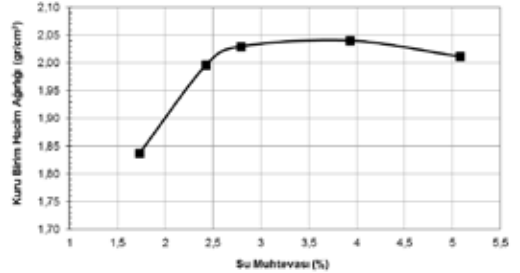
Şekil 10b. İncelenen malzemeye ait kompaksiyon eğrisi.

8 No'lu Malzeme:

Burdur bölgesinden temin edilmiştir. İncelenen malzeme Burdur-Bucak karayolu çalışmasında üst temel malzemesi olarak kullanılmaktadır. Malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi ve standart kompaksiyon ile elde edilmiş proktor eğrisi Şekil 11a ve b'de görülmektedir. Sıkıştırma ile elde edilmiş optimum su içeriği % 3.9 ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı 2.04 gr/cm^3 olarak belirlenmiştir.



Şekil 11a. İncelenen malzemeye ait tane boyu dağılım eğrisi.



Şekil 11b. İncelenen malzemeye ait kompaksiyon eğrisi.

4. TARTIŞMA

İncelenen dolgu malzemelerine ait zemin grupları SP, SW ve GP olarak tespit edilmiştir. İnce tane oranlarının ise % 0.65 ile % 3.56 arasında değişmekte olduğu görülmektedir (Tablo 4). Tablo 5 ise dolgu malzemelere ait sıkıştırma parametrelerini USCS zemin sınıfları ile birlikte ortaya koymaktadır.

Tablo 4. İncelenen dolgu malzemelerine ait tane boyu parametreleri ve zemin sınıfları.

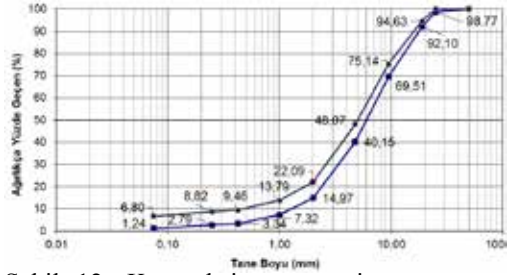
Örnek No	4 No %	40 No %	200 No %	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀
1	30.23	10.21	3.56	0.32	4.70	20.90
2	57.80	8.84	1.16	0.51	2.20	5.15
3	91.65	32.16	0.74	0.13	0.40	0.90
4	40.94	7.48	1.31	0.52	2.70	9.40
5	29.93	11.48	3.71	0.32	4.77	22.0
6	46.46	5.84	0.65	0.70	2.85	6.80
7	29.20	3.93	0.85	1.40	5.00	11.0
8	40.15	3.34	1.24	1.20	3.40	8.60

Tablo 5. İncelenen dolgu malzemelerine ait sıkışma parametreleri ve tanımlanmış zemin sınıfları.

Örnek No	Optimum Su İçeriği (%)	Maks. Kuru Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	USCS Zemin Sınıfı
1	5.75	2.245	GP
2	4.00	2.118	SW
3	21.0	1.565	SW
4	2.00	2.100	GW
5	4.90	2.014	GP
6	7.00	2.265	GW
7	4.25	2.100	GW
8	3.09	2.040	GW

Kompaksiyon ile sıkışmada ince tane muhtevasının taş unu niteliğindeki malzeme olması kuru halde iken dağılmayı kolaylaştırmaktadır. Bu yüzden esas olarak istenen durum, kil mineralojisinde bir miktar ince tanenin dolgu içerisinde yer almasıdır. Bunun yanında yapılan deneysel çalışma laboratuvar koşullarında kompaksiyon deneyi ile dolgu malzemesinin mekanik olarak da parçalandığı ve öncesi ile sonrası arasında bir gradasyon farklılığının bulunduğunu ortaya koymuştur. Bunun tespiti için 8 no'lu malzeme üzerinde kompaksiyon deneyi öncesi ve sonrasında yıkamalı elek analizleri yapılarak elde edilen granülometrik eğriler bir arada Şekil 12'de sunulmuştur. Deney başında 200 no'lu elekten geçen malzeme miktarı % 1.24 iken, kompaksiyon deneyi sonrası % 6.80'e çıkmıştır. Diğer tane boylarına da bakıldığında bütün olarak % geçen değerlerinde artışların olduğu görülmektedir. Bu durum laboratuvar ve

arazi sıkışma değerlerinin doğrulanmasının oldukça fazla hatalara neden olabileceğini ortaya koymaktadır.



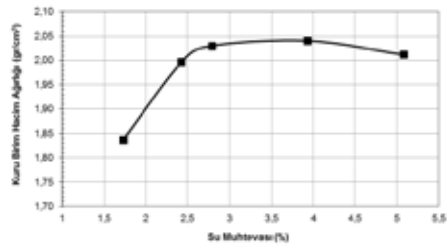
Şekil 12. Kompaksiyon öncesi ve sonrası tane boyu dağılımlarındaki değişimin 8 no'lu örnek üzerinde tanımlanması.

Artan ince tane yüzdesinin sıkışmada etkisini tanımlamak ve bunun arazi koşullarına uyarlamak oldukça zordur. Ancak taş unu niteliğindeki ince tanenin yerine kil mineralojisinde ve plastik özelliği bulunan tanenin katılması, dolgunun oldukça iyi sıkışmasını sağlayacaktır. Bunun ortaya konulabilmesi için % 6.80 olan ve taş unu niteliğindeki malzeme olduğundan çıkarılarak yerine aynı oranda kil (Belevi kili, Denizli) katılarak kompaksiyon deneyi yinelenmiştir. Taş unu ve kile ait kıvam parametreleri Tablo 6'da görülmektedir.

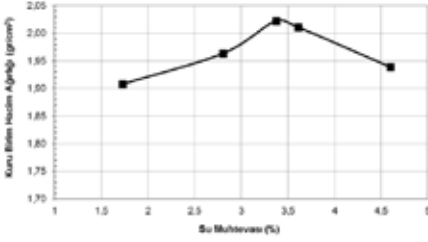
Tablo 6. Taş unu ve kile ait kıvam parametreleri.

Malzeme Tanımı	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi
Kırmataş unu	15	NP	Tanımsız
Belevi kili	61	46	15

İncelenen karışımlarla elde edilmiş kompaksiyon eğrileri Şekil 13a ve b'de görülmektedir.



Şekil 13a. İnce tanesi taş unu olan malzemeye ait kompaksiyon eğrisi



Şekil 13b. İnce taneli kil olan malzemeye ait kompaksiyon eğrisi.

Elde edilen veriler MH sınıfındaki kilin granüler malzeme içine katılmasıyla dolgunun su içeriğinde önemli bir değişikliğin olmadığı (% 3 – 4), buna karşılık dolgunun tutturulmuşluk ve buna bağlı olarak dayanımının önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir (Şekil 14). Ancak dayanım değerlerinin laboratuvar koşullarında belirlenmesine yönelik bir çalışma yapılamamıştır.



Şekil 14. Sıkıştırılmış granüler malzemelerin optimum su içeriklerinde sıkıştırılmaları sonrası görünümleri (üstte, ince taneli taş unu ve altta, ince taneli kil olan karışım görülmektedir).

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Genel olarak USCS sınıfındaki iri taneli zemin grubu dolgu imalatları için uygun olarak değerlendirilirler. İnce taneli zeminlerin sıkıştırılmaları ise hem sıkıştırma güçlükleri ve hem de sonrasında kontrol güçlüklerinden dolayı daha az tercih edilirler. Bu açıdan kullanımları özel koşullar içerir. Bu çalışma, farklı gradasyona sahip granüler kırmataş dolgu malzemelerinin sıkışma parametrelerinin belirlenmesini amaçlamıştır. Farklı bölgelerden temin edilen ve gerçek anlamda bir mühendislik projesinde kullanılmış olan dolguların bütünü farklı su içeriklerinde farklı kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır. Bu anlamda sadece tane boyu dağılımına bağlı zemin grubuna göre bir sıkışma değerlendirmesi yapmak mümkün olmamaktadır.

Laboratuvar koşullarında kompaksiyon esnasında granüler malzemeye ait tane boyunun deney sonrasında değiştiği belirlenmiştir.

Bu durum tanelerin darbeler etkisiyle kırılarak ufalması şeklinde açıklanabilmektedir. Bu yüzden laboratuvar ve arazi sıkışma değerlerinin kontrollerinde büyük yanlışlıklar yapılabilmektedir. Arazi kum konisi deneyleri ile sıkışma performanslarının değerlendirilmesi yanında yerinde yükleme deneyleri ile de dolgunun elastik sabitlerinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Ancak arazideki haliyle bir yükleme düzeneği laboratuvar koşulları için bulunmamaktadır.

Granüler dolgu malzemelerin kırmataş tesislerinde üretilmeleri nedeniyle uygun miktarda ve mineralojik özellikte ince tane içeriğine sahip olmadıkları görülmektedir. Oysa kompaksiyon şeklinde bir dolgunun sıkışabilmesi için mutlaka kil mineralojisinde ince tane katkısına ihtiyaç bulunmaktadır. Zira granüler dolgu içinde su ile ilk olarak etkileşime geçen taneler kil taneleridir. Su molekülleri ile bağlanmalarının kolay olması, bu tanelerin diğer taneleri de birbirlerine bağlaması kolay olmaktadır. Ancak taş unu niteliğindeki taneler için plastik bir özellikten bahsedilemeyeceği için bu durumdan söz etmek mümkün değildir.

Bütünü ile halen devam etmekte olan bu çalışma ana hatları ile dolgu malzemelerdeki bilinmeyenlerin ve olması gerekenlerin

ortaya konulmasına hizmet etmeyi amaçlamıştır. Yapılacak benzer çalışmalar elde edilecek veri ve bulgularında daha genellenebilir olmasını sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Burdur-Çeltikçi Abalıoğlu Yem Fabrikası temel dolgu çalışmalarındaki katkılarından dolayı Sn. Mehmet Ali GÜNGÖR'e teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

ASTM D 698 (2007). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, ASTM Publication, 13 p.

AASHTO T 224 (2010). Standard Method of Test for Correction for Coarse Particles in the Soil Compaction Test, Standard by American Association of State and Highway Transportation Officials (AASHTO), 6 p.

AASHTO T 99, (2015). Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 2.5-kg (5.5-lb) Rammer and a 305-mm (12-in.) Drop, Published By: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 14 p.

AASHTO T 180, (2015). Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop, Standard by American Association of State and Highway Transportation Officials (AASHTO), 14 p.

Hogentogler, C.A., Terzaghi, K., (1929). "Interrelationship of load, road and subgrade". Public Roads: 37-64.

KGM, (2013). Karayolu Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayını, 431 s., Ankara.

Liu, T. K. (1967). "A Review of Engineering Soil Classification Systems," Highway Research Record No. 156, National Academy of Sciences, Washington DC., 1-22.

TS 1900-1, (2006). İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, TSE Yayını, 99 s., ANKARA.

Analysis of Geological, Mechanical and Characteristics of Using Aggregates in Tailings Ponds

Atık Havuzlarında Kullanılan Agregaların Jeolojik ve Mekanik Özelliklerinin Analizi

G. Ertuğrul

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

E. Göz

Dumlupınar Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya

A. Uçar

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Dünya çapında, artan sosyal talepler, ekonomik gelişmeler, tüketimdeki dalgalanmalar, şehirleşme, sanayileşme, modernleşme, nüfus artışı ve teknik ihtiyaçlar neticelerinde, doğal kaynakların üretiminde artışlar meydana gelmiştir. Fakat çevresel düzenlemelere daha az önem verilmiştir. Madencilik faaliyetlerinin çevreye etkilerden biri de açığa çıkan atık sularıdır. Bu sulara çok fazla kirletici katı ve sıvı madde bulunmaktadır.

Agregalar doğal kaynaklar arasında en bol bulunanlar arasında yer almaktadır. Nehir yatakları, deniz ve göl kenarları, taş ocakları ve endüstride yan ürün veya atık olarak elde edilmektedir. Bu materyaller madencilik faaliyetleri sırasında veya sonrasında oluşturulan atık havuzlarının duraylılığını, sızdırmazlığını ve oturmasının sağlanmasında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, atık havuzu yapım uygulamalarında kullanılacak uygun agregaların, sınıflandırılması, dayanımı, parçacık duraylılığı, parçacık şekli, parçacık dokusu, parçacığın yüzeyini kaplayan mineraller, parçacık gözenekliliği ve kimyasal reaksiyonlara yatkinlığı ile atık havuzlarındaki uygulama çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Agregası, madencilik faaliyetleri, atık havuzları, agregası özellikleri.

ABSTRACT Worldwide, increasing social demand, economic developments, consumption fluctuations, urbanization, industrialization, modernization, population growth and technical needs as a result of the increase in the production of natural resources has occurred. But there is less importance to the environmental regulations. Waste water is one of the environmental problems of mining activities. This water contains a lot of solid and liquid contaminants.

Aggregates are found among the most abundant in natural resources. They are obtained from river basins, sea and lake edges, quarries and industry as by products and waste. During mining activities or finished mining activities, these materials help creation of stability, impermeability and settlement of tailings dam. In this paper, construction of tailings pond with using aggregates are given information about classification, particle stability, particle shape, particle size, particle texture, covered in minerals of particle, particle porosity and trending to chemical reactivity of aggregates.

Keywords: Aggregate, mining activities, tailing ponds, aggregate characteristics.

1 INTRODUCTION

Aggregates are defined here as particles of rock which, when brought together in a bound or unbound condition, form part or the whole of an engineering or building structure. Natural sand, gravel and crushed rock aggregates are fundamental to the man-made environment and represent a large proportion of the materials used in the construction industry (Smith and Collins, 2001). In addition to, aggregates are used during the mining operations and end of mining operation for reclamation applications.

Aggregates contain sand, gravel or crushed rocks; it should be known uses of filter aggregates category of works (land drainage, structure drainage, remedial and stability works, water supply, filtration and purification works, and marine works) that particle size, grading, strength, durability, shape, texture, porosity, surface coatings and chemical activity (Smith and Collins, 2001). Description and classification of aggregates related on its type, physical characteristics, particle shape, surface texture, color, presence of fines, presence of coatings, extraneous material, petrological composition (monomictic or polymictic), petrological name, geological age (for sedimentary rocks), petrographic description, sample reference, certificate of sampling, source and also identified by petrographic thin section examination, X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction analysis (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM) (Smith and Collis, 2001). Sedimentary facies plays important role on the color and pattern properties of limestone that its changing has negative effect on the quality of the limestone (Turk et al., 2010).

Nowadays, a number of environmental problems can occur due to the growing industrialization. The potential harm is high the natural balance of the tailings pond formed by the drainage of groundwater or wastewater facilities in the mining activities may cause potential problems. Waste ponds of content in heavy metals (such as lead,

mercury and arsenic), the acid or base content (H_2SO_4 , such as NaOH and NH_4) status and toxicity are major factors threatening the environment. Therefore, ensuring permeability, stability and settlement conditions of waste ponds is very important for optimum design. Compatible with each of these three elements in the form of implementation, region of geology, the tendency chemical reactivity, strength of the aggregate should be known.

Good filling and ballast (the train route) used as the material aggregates can be used in stability and impermeability. Aggregates are used here for protection. There are the three general methods rock fill riprap method and gabion are applied. As general fill materials would also be excluded, except for purposes of comparison or explanation (Smith and Collins, 2001).

2 AGGREGATES GEOLOGY

Rocks are classified by sedimentary, igneous, and metamorphic. Sedimentary rocks especially carbonate rocks such as limestone and dolomite ubiquitously used aggregates. Limestones are used for aggregates that good strength, low possibility of alkali-silica reaction and reduce the drying shrinkage in concrete (Carlos et al., 2010). Carbonate facies and facies sequences must be defined for evaluation and selection aggregates for applications; facies may change vertically or laterally by diversity of fossil content or grain size (Tucker and Wright, 1990). Variations of the color and pattern related to the facies that negative influences on the quality of the limestone (Turk et al., 2010). A limestone's classification is often difficult to identify at fieldwork due to the diagenesis some techniques will help us i.e. petrographic thin section observation according to Dunham (1962) and/or Folk (1962) limestone classification, Scanning Electron Microscope (SEM), stable isotope analysis (Morse and Mackenzie, 1990).

3 AGGREGATES FEATURES

Particle size, grading, strength and durability are the key properties, as these determine permeability, ease of construction, stability and longevity. Particle sizes in filter aggregates can range from fine sands to boulder-sized material. The aggregates are usually placed and compacted in an unbound condition. The completed filter layer or bed will usually need to have the following properties: structural stability (especially if placed in an unconfined situation); durability; high permeability combined with resistance to internal erosion of fines; low frost susceptibility; low susceptibility to salt aggression, chemical attack and solution loss. Physical and chemical breakdown in service may seriously impair the design grading of a filter, adversely affecting its performance. The strength, shape, surface texture and composition of the individual particles will have an important influence on the above properties as will the abrasion resistance and crushing strength of the aggregate since, if these are deficient, it may degrade during placing and compaction (Smith and Collins, 2001).

Grading is fundamental to the design of a filter, detailed consideration of which is beyond the scope of this report. Filters in contact with natural soils or controlled fill material may be designed in accordance with criteria originally was given (Terzaghi and Peck, 1967), but current practice favours the design criteria was developed (Sherard and Dunnigan 1985 - 1989) and it was issued as guidelines (U.S. Department of Agriculture 1986). Multi-layered construction will tend to be used for the thicker filter layers. A very wide range of particle sizes, from fine sand up to boulders, might, therefore, be used in different parts of a filter zone. An important requirement is freedom from silt and clay and it is commonly specified that any material passing the 425 μm BS sieve shall be non-plastic when tested in accordance with BS 1377 (British Standards Institutions, Methods of testing soils for engineering purposes). It would also normally have a fines content below 10% (Smith and Collins, 2001).

Aggregate strength, since in the absence of a cementitious binder, the stability and load-bearing properties of a filter rely on the aggregate particles alone, these must be strong enough to prevent breakdown during construction and when in use. Fine-grained materials normally used for filters are

generally those which nature has selected as the most durable. Thus, many sands and gravels, and fine gravels, are mainly composed of the hard and stable quartz mineral. However, aggregate particles coarser than fine gravel are not usually monomineralic but are composed of rock fragments in which the strength is derived from the interlocking or cementation of individual mineral grains that pay attention to assessment of the strength and abrasion resistance of these aggregates (Smith and Collins, 2001).

Particle durability, can be defined as the resistance of the aggregate under its working conditions to cyclic variations in temperature, load, moisture content, freezing and thawing, and chemical environment. It is essential that filter aggregates are durable in the long term and this is particularly important where high strength is not a characteristic of the aggregate. Any breakdown of the constituent particles would increase the fines content of the filter and alter its design grading and efficiency (Smith and Collins, 2001).

Particle shape, is, after grading, as important as strength in a filter aggregate and can be discussed under two main headings. The first relates to whether a particular particle is basically equidimensional in shape or whether it is flaky or elongated. In general, it is desirable for filter aggregates to be essentially equidimensional as this aids the flow distribution through the medium and also facilitates packing of the coarser and fine constituents and improves the effectiveness of the filter. The second important shape characteristic is roundness and again it is better for the filter aggregate to have rounded, as opposed to angular, edges to most particles (Smith and Collins, 2001).

Particle texture is affects to a lesser extent both the flow of liquid through the filter and the filtration characteristics of the material. A smooth glassy surface is useful from a drainage aspect but not so efficient from a filtration or fines ingress viewpoint, where a rougher surface texture is considered more advantageous (Smith and Collins, 2001).

Some aggregates have a coating that may, or may not, be easily removed during initial processing. Coatings are commonly composed of clay, silt, calcium carbonate, iron oxides, silica or gypsum, but other coatings can occur. Such coatings may vary in thickness and hardness and are, on the whole, undesirable in filter aggregates. They

should either be removed by scrubbing (Smith and Collins, 2001).

The functions of drainage and filtration are not significantly affected by particle porosity which can, however, be expected to have a negative correlation with strength and durability. Therefore, the aggregate porosity, or a related property such as water absorption, should be measured in order to assess its possible effects on, for example, durability, chemical reaction, freeze/thaw or other breakdown mechanisms (Smith and Collins, 2001).

There are generally no specified requirements for chemical inertness or solubility but these should nevertheless be taken into account in relation to the use of the filter media. It is important that the aggregate is not affected by the chemical properties of the liquid to be treated and also that constituents are not leached from the filter medium into the filtrate. The latter is more likely to occur with artificial aggregates, such as slag, than with naturally occurring aggregates. Slag may also be aggressive to concrete and, if used, is generally required to comply with the stability and sulphur content requirements of BS 1047 (British Standards Institutions, Specification for air-cooled blastfurnace slag aggregate for use in construction) (Smith and Collins, 2001).

4 USING AGGREGATES FOR WASTE WATER PONDS

As a using for stability and impermeability materials aggregate may be applied general aggregate tests But, Use of these aggregates in different purposes when the engineering implementation of tests listed in Table 1 are recommended. Degrade during placing and compaction (Smith and Collins, 2001).

Grading Test that the rock shall comply with to the defined grading limits after it has been put within the matrix of the rock riprap.

Shape test (flakiness and elongation indices) is examined two indices. First, the Flakiness index of aggregates is the percentage by weight of particles whose least dimension (thickness) is less than three-fifths (0.6times) of their mean dimension. This test is not applicable to sizes smaller than 6.3mm. Second, the Elongation index of an aggregate is the percentage by weight of particles whose greatest dimension (length) is greater than nine-fifths (1.8times) their mean dimension.

This test is not applicable for sizes smaller than 6.3mm.

Relative density (oven dried) test, is the ratio of mass of an aggregate to the mass of a volume of water equal to the volume of the aggregate particles also referred to as the absolute volume of the aggregate. It is also expressed as the ratio of the density of the aggregate particles to the density of water.

Water absorption, the penetration of a liquid into aggregate particles with resulting increase in particle weight. It is defined as a percentage

Ten percent fines value is a measure of the resistance of aggregate crushing subjected to loading and it is applicable to both weak and strong aggregate. Fine aggregates are defined as those passing 2.36 mm sieve. The test aims at looking for the forces required to produce 10% of fine values (i.e. weight of fines aggregates/weight of all aggregates = 10%). This test is very similar to Aggregate Crushing Test in which a standard force 400kN is applied and fines material expressed as a percentage of the original mass is the aggregate crushing value.

The aggregate crushing value gives a relative measure of the resistance of an aggregate crushing under gradually applied compressive load. With aggregate crushing value 30 or higher' the result may be anomalous and in such cases the ten percent fines value ought to be determined instead.

Aggregate impact value, the property of a material to resist impact is known as toughness. Due to movement of vehicles on the road the aggregates are subjected to impact resulting in their breaking down into smaller pieces. The aggregates ought to thus have sufficient toughness to resist their disintegration due to impact. This characteristic is measured by impact value test. The aggregate impact value is a measure of resistance to sudden impact or shock, which may differ from its resistance to gradually applied compressive load.

Aggregate abrasion value, the aggregate used in surface course of the highway pavements are subjected to wearing due to movement of traffic. When vehicles move on the road, the soil particles present between the pneumatic tyres and road surface cause abrasion of road aggregates. The steel reamed wheels of animal driven vehicles also cause considerable abrasion of the road surface. Therefore, the road aggregates should be hard enough to resist abrasion. Resistance to abrasion of aggregate is determined in laboratory by Los Angeles test

machine. The principle of Los Angeles abrasion test is to produce abrasive action by use of standard steel balls which when mixed with aggregates and rotated in a drum for specific number of revolutions also causes impact on aggregates. The percentage wear of the aggregates due to rubbing with steel balls is determined and is known as Los Angeles Abrasion Value.

The soundness ($MgSO_4$) test determines an aggregate's resistance to disintegration by weathering and, in particular, freeze-thaw cycles. Aggregates that are durable (resistant to weathering) are less likely to degrade in the field and cause premature hot mix asphalt (HMA) pavement distress and potentially, failure. The soundness test repeatedly submerges an aggregate sample in a sodium sulfate or magnesium sulfate solution. This process causes salt crystals to form in the aggregate's water permeable pores. The formation of these crystals creates internal forces that apply pressure on aggregate pores and tend to break the aggregate. After a specified number of submerging and drying repetitions, the aggregate is sieved to determine the percent loss of material.

Deleterious Substances in Aggregate, organic impurities interfere with the hydration reaction organic matter are mostly found in sand and consists usually of products of decay of vegetable matter (mainly tannic acid and its derivatives) organic matter may be removed from sand by washing. In order to determine the organic content of aggregate, colorimetric test is recommended. However, this test does not confirm the adverse effect of the organic impurity, because high organic content does not necessarily mean that the aggregate is not fit for use in concrete. Clay present on the surface of the aggregate particles in the coating form interfere with the bond between aggregate and the cement paste, adversely affecting the strength and durability of concrete. Other fine materials which may be present in aggregate are silt (2 to 60 μm) and crusher dust. Silt and dust, owing to their fineness, increase the surface area and therefore increase the amount of water necessary to wet all the particles in the mix. In view of above, it is necessary to control the amount Sand from seashore or dredged from the sea or a river estuary, as well as desert sand contains salt. Coarse aggregate dredged from sea also contains salt. Salts coming through aggregates cause reinforcement corrosion and also absorb

moisture from the air and cause efflorescence of clay, silt and fine dust in aggregate. Following are the two broad types of unsound particles found in aggregates. Materials fail to maintain their integrity. Materials lead to disruptive expansion on freezing or even on exposure to water. Unsound particles if present in large quantities (over 2 to 5% of the mass of the aggregate) these particles may adversely affect the strength of concrete and should certainly not be permitted in concrete which is exposed to abrasion. Shale and other particles of low density are regarded as unsound. Clay lumps, wood, and coal, included in aggregate, are also regarded as unsound.

The procedure of petrographic analysis outlines the method to be employed in the petrographic analysis of fine aggregate. Unlike the petrographic analysis of coarse aggregate, this method does not provide a petrographic number. The procedure appraises the quality of the fine aggregate. Firstly, the method determines amounts of silicate and carbonate rock types. Secondly, the amount of deleterious material including, for example, shale, mica and chart, is recorded. The latter is required so as to assess the potential for problems such as lack of freeze-thaw durability and alkali-aggregate reaction.

Table 1. Proposed test for assessment of filter aggregates (modified from Smith and Collins, 2001)

Categories of Test	Tests	Suggested guideline
Physical Properties	Grading	Design test only
	Shape (flakiness and elongation indices)	Not more than 30
	Relative density (oven dried)	No less than 2.5
	Water absorption	Not more than 3% by weight
Mechanical Properties	10% fines value	Not less than 100 kN
	Aggregate crushing value	Not more than 30
	Aggregate impact value	Not more than 30
	Aggregate abrasion value	Not more than 20
	Los Angeles abrasion value	Not more than 40

Durability Properties	Soundness (MgSO ₄)	Not more than 12% lost
	Deleterious substances	To be assessed after
	Petrographic analysis	examination

To use in tailings ponds aggregates, mineral filler (<63 μm.), Thin (63 μm. to 4 mm.), container (4 mm. to 31.5 mm.), ballast (31.5 mm to 70 mm) and large (70 mm to 1.3 m.) are examined in five groups.

Mineral fillers, have worn this uniform structure by the physical and chemical processes is a very fine grains more resistant to degradation. They ensure very good impermeability. Coarse aggregates can hold mineral filler. Therefore coarse aggregates fullfillment very impermeability function like mineral fillers.

Ballast and large granular aggregates, resistance to wear on the physical and chemical processes may be low. Therefore, the geological origin of these aggregates and table 1 values should be considered in the selection. These size aggregates are used to ensure the stability and settlement of the tailings ponds.

Taken from another thought, there are basically two types of sand filter. First, filters characterized by slow filtration rates, using a fine sand and requiring infrequent cleaning. Second, rapid filters, which are coarser, operating at higher filtration rates and requiring frequent cleaning. The action of a filter bed in removing fine suspended matter is complex and not yet fully understood, being a combination of straining, physical forces, which determine the transportance of particles towards and on to the sand grains, and surface forces which hold the suspended particles to the grains. In slow sand filters the bed usually comprises from 0.6 m. to 1.2 m. of fine sand supported by layers of graded gravel 0.2 m. to 0.3 m. thick. Rapid filters usually comprise from 0.6 m. to 0.8 m. of coarse sand supported on several layers of fine to coarse gravel to give a total bed thickness of 1.0 m. to 1.3 m. (Figure 1). The sand should be hard, abrasion resistant and free from contaminants. It should not lose more than 2% by weight after immersion for 24 hours in 20% hydrochloric acid at 20 °C both rounded and angular grains may be used, but they should not be flaky. Filter sand is normally obtained from natural sand deposits by sieving, although crushed fines produced from rocks as mainly quartz

minerals. The gravel or coarse layer in a filter system has several functions. It supports the sand, permits the filtered water to move freely towards the underdrain and, in the case of a rapid filter, and facilitates a uniform flow distribution. The coarse material should be clean, hard, durable, and free from flat, flaky or elongated particles (Smith and Collins, 2001).



Figure 1. Settle of Filter Aggregate (Tibbett, 2015)

5 LANDFILL APPLICATIONS USING AGGRAGATE FOR ARRANGEMENT TAILINGS PONDS

Landfilling is the most economical and environmentally admitted method of solid waste isolation. Implementation of waste reduction, recycling, and transformation technologies has decreased landfill Landfill for Solid Waste Disposal burdens but landfills remain an important component of an integrated solid waste management strategy (Tchobanoglous, 1993). Landfilling unit is a discrete area of land or excavation that receives household waste, and that is not considered a land application unit, surface impoundment, and injection well, or waste pile, etc. In addition to household waste, a unit may receive commercial waste, non-hazardous solid waste from industrial facilities with nonhazardous sludges, and sewage sludge from wastewater treatment plants (US Environmental Protection Agency, 1993; Environmental Research Foundation, 2009). Tailing pond components are showed in Figure 2. And,

sequential raising upstream embankment of tailing pond is shown in Figure 3.

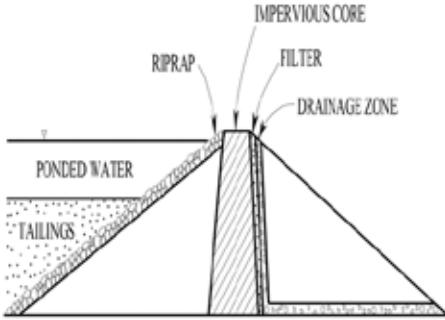


Figure 2. Systematic Tailing Pond Components (Environmental Protection Agency, 2003)

Sequential raising centerline embankment of tailing pond is shown in Figure 4.

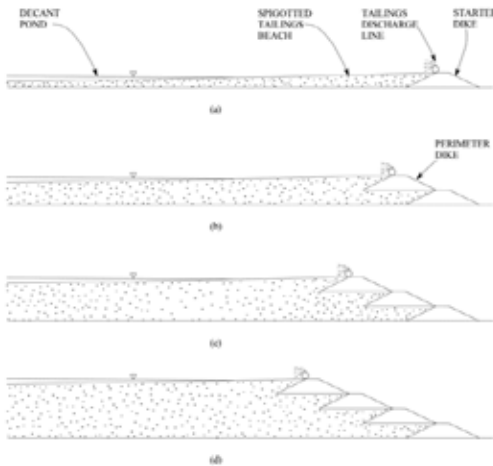


Figure 3. Sequential Raising, Upstream Embankment (Environmental Protection Agency, 2003)

Sequential raising downstream embankment of tailing pond is shown in Figure 5.

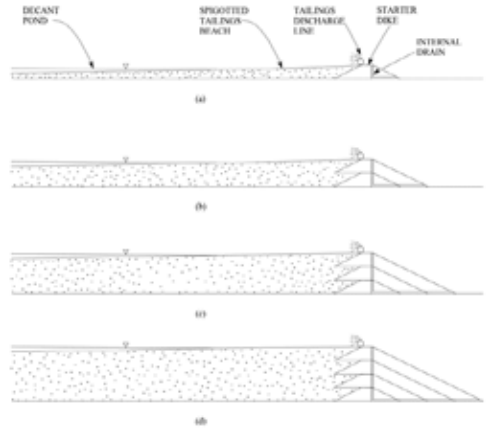


Figure 4. Sequential Raising, Centerline Embankment (Environmental Protection Agency, 2003)

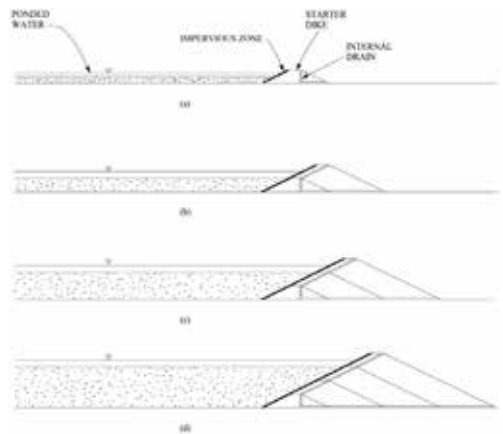


Figure 5. Sequential Raising, Centerline Embankment (Environmental Protection Agency, 2003)

Release of pore water during tailings consolidation is the main source of potential contaminant release to the receiving environment. Thus, the tailings storage facilities (TSF) design must provide the most effective means of allowing this fluid to be expelled, while ensuring significant capture of the contaminated water.

conditions (including the physical and chemical environment), and both the making a general specification sometimes impossible. The predominant requirements are for durability, settlement, impermeability and measured stability, which will usually have to be stated from a wide range of physical, chemical and geological properties. This might ask for a substantial degree of decision and experience on the part of the engineer.

KAYNAKLAR

- British Standards Institutions, 1983. Specification for air-cooled blastfurnace slag aggregate for use in construction: BS 1047.
- British Standards Institutions, 1990. Methods of testing soils for engineering purposes: BS 1377.
- Carlos A., Masumi I., Hiroaki M., Maki M., Takahisa O. 2010. The effects of limestone aggregate on concrete properties, *Construction and Building Materials*, Volume 24, Issue 12, 2363–2368
- Chan K.Y. and Mullins, C.E., 1994. Slaking characteristics of some Australian and British soils. *European Journal of Soil Science* 4, 273–283.
- Dunham R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: *Classification of Carbonate Rocks* (Ed. By W.E. Ham) Mem. Am. Ass. Petrol. Geol. 1, 108-121.
- Emerson W. W., 1967. A classification of soil aggregates based on their coherence in water. *Australian Journal of Soil Research* 5, 47–57.
- Environmental Research Foundation, 2009. P.O. Box 5036, Annapolis, MD 21403, Fax (410) 263-8944; Phone: (410) 263-1584; Fax: (410) 263-8944, Web site: <http://www.rachel.org> and <http://www.zerowasteamerica.org/LandfillDiagra>.
- Farres, P. J., 1980. Some observations on the stability of soil aggregates to raindrop impact. *Catena* 7, 223–231.
- Folk R. L., 1962. Spectral subdivision of limestone types. In: *Classification of Carbonate Rocks* (Ed. By W.E. Ham) Mem. Am. Ass. Petrol. Geol. 1, 62-84.
- Glinski J., Horabik J., and Lipiec J., (editors) 2011. *Encyclopedia of Agrophysics*, Dordrecht - The Netherlands, Springer Series, ISBN: 978-90-481-3584-4. 1075 s.
- Hore C. and Lupprow D., 2015. *In-pit Tailings Disposal at Langer Heinrich – Tailings Storage Facilities in a Unique Hydrogeological Setting*, SRK Publications, Technical Notes, Australia Sydney, 10 p.
- Kay, B. D. and Angers, D. A., 1999. *Soil Structure*. In: *Handbook of Soil Science* (ed. M.E. Sumner), CRC Press, Boca Raton, FL, ISBN 9780849331367 - CAT# 3136, 2148 s.
- Kheyrahi D. and Monnier G., 1968. Etude experimentale de l'influence de la composition granulometrique des terres leur stabilite structurale. *Annales Agronomiques* 19, 129–152.
- Le Bissonnais Y., 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47, 425–437.
- Mcintyre D. S., 1958. Permeability measurements of soil crust formed by raindrop impact. *Soil Science* 85, 158–189.
- Morse J. W. and Mackenzie F.T. 1990. *Geochemistry of Sedimentary Carbonates Developments in Sedimentology* 48, Amsterdam, ISBN 0-444-88781-4, 707 p.
- Panabokke C. R. and Quirk J. P. 1957. Effect of initial water content on stability of soil aggregates in water. *Soil Science* 83, 185–195.
- Rengasamy P. and Olsson K. A., 1991. Sodicity and soil structure. *Australian Journal of Soil Research*, 29, 65–76.
- Rengasamy P. and Sumner M.E. 1998. *Processes involved in sodic behavior In: Sodic Soils (Eds M.E. Sumner and R. Naidu)*, Oxford University Press, New York, ISBN 019509655X, 35-50 s.
- Sherard, J. L. and Dunnigan, L. P., 1985. Filters and leakage control in embankment dams. Seepage and leakage from dams and impoundments. ASCE, New York, NY, 1-29.
- Sherard, J. L. and Dunnigan, L. P., 1989. Critical filters for impervious soils. *ASCE Journal of Geotechnical Engineering*, 115, 7, 927-947.
- Smith, M. R and Collis L. (eds.) 2001. *Aggregates: Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes (3rd edition)*, Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication No: 17, 339 s.
- Tchobanoglous G., Theisen H., and Vigil S. 1993. *Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues*, New York, McGraw-Hill, Inc., 977 s.
- Terzaghi, K. and Peck, R. B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd edition Wiley, New York, 566 s.
- Tibett M. (eds.), 2015. *Mining in Ecologically Sensitive Landscapes*, CRC Press, London, CSIRO Publishing, ISBN: 9780415620918, 276 s.
- Tucker M.R. Wright V.P 1990 *Carbonate Sedimentology*, Blackwell Science, ISBN 13: 9780632014729, Oxford, 482 s.
- Turk N., Yavuz B.A., Isintek I., Akgun A., Elci H. ve Arslantas B., 2010. Karaburun Yarımadası (İzmir) Kireçtaşlarının Doğal Yapı Taşı ve Agrega Olma Potansiyelinin Araştırılması, TUBİTAK Project No: 107Y052, 235 s.

- U.S. Department of Agriculture (Soil Conservation Service), 1986. Soil Mechanics Note No. 1. Guide for determining the gradation of sand and gravel filters. Lincoln, NE, USA.
- U.S. Environmental Protection Agency (1993). Criteria for Solid Waste Disposal Facilities: A Guide for Owners/Operators, EPA-530-SW-91-089. US EPA, Washington, DC, 21 s.
- U.S. Environmental Protection Agency (2003). EPA and Hardrock Mining: A Source Book for Industry in the Northwest and Alaska Appendix F: Solid Waste Management. US EPA, Washington, DC, 46 s.

Kalker, Marn ve Şeylin Sünme Karakterizasyonu-Bitümlü Gözenekli Agregata için Don-Mikrodalga Kurutma-Bilya Darbe Dayanım Testi ile Sünme Etüdü

Creep Characterization of Bitumen Limestone Marl and Shale-Thaw-Microwave Drying-Dropball Impact Strength of Porous Aggregate

Y.İ. Tosun

Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak

ÖZET Şırnak ili Taşocaklarından ve Kömür Ocağı Atığı olarak çıkarılan kalker, şeyl, marn ve marnlı kalkerin sulu asidik çözeltilerle etkileşimi incelenmiş ve hafif yapı malzeme standartlarına uygunluktaki yerel doğal kaynakların hafif beton üretiminde kullanılabilirliği belirlenmiştir. Üretilen belirli iri ve ince boyutlu agregata numuneleri kimyasal etkileşimde 1 M HCl ve 1 M H₂SO₄ asit ile muamelesinde daha geçirimli ve gözenekli agreganın üretimi sağlanmıştır. Özellikle 36-48 saatlik bekletme sürelerinde bu özellik yeterli olmaktadır. 50 °C sıcaklığın da etkileşimi hızlandırdığı belirlenmiştir. Bu teknolojik uygulamalar ile yerel doğal taşların hafif yapı agregası olarak değerlendirilebilirliği daha da geliştirilebilmektedir. Üretilen hafif beton blokların dayanımları 7,2 den 18,4 MPa dağılmıştır. Yarı hafif agregaların Modifiye darbe shatter dayanım değerleri de kritik edilmiştir. Böylelikle en ideal sıkı paketlenme ile bu yarı hafif agregalar ve cüruf karışımlarından üretilen hafif beton blokların dayanımları da 17,3-19,2 MPa çıkabilmektedir.

ABSTRACT The chemical activation of limestone, marly limestone, shale, marl produced from Şırnak coal mines and quarries was investigated and the qualities of products of semi lightweight aggregates providing the specifications required from lightweight concrete production were determined. The waste aggregates were treated with 1 M HCl and 1 M H₂SO₄ asidic solutions in order to produce porous aggregate. 36-48 day treatment has become sufficient. 50°C temperature increased activation. The compression strengths of lightweight concrete blocks varied among 7,2 and 18,4MPa. Modified impact shatter resistance was also discussed. Hence the strengths of concrete blocks produced with the best gradation of aggregates reached to 17,3-19,2 MPa.

1 GİRİŞ

Hafif yapı elemanı üretiminde yerel ucuz doğal kayaçlarını değerlendirilmesi ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Yapı malzemesi şartnamelerini sağlayan en uygun hafif agregata üretilmelidir. Agregata tesislerinin tasarımı, kırıcı, elek seçimi önemli olmaktadır (Park vd. 2005, Moulia ve Khelafib, 2008). Taş ocaklarında tras, tuf, volkanik cüruf ve pomza gibi formasyonlar hafif agregata üretimini olanak sağlar (Doel, 2007). Dayanımı zayıf hafif agregata kırmataş üretimini ve kapasitesini olumsuz etkiler

(Piora ve Piora, 2004, Szilagyı ve Terec, 2013). Gözenekli agregata üretimi kayacın türü dokusu ve mikro yapısıyla ilgili olmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan kırma taş (asfalt micir, beton, yol malzemesi vs.) genellikle çekiçli ve darbeli kırıcılar ile gerçekleştirilmektedir. Bu tip kırıcılarda tozlanma daha yüksek oranda olmasına rağmen tane şekli bakımından avantajlı köşeli tane oluşumunu sağlamaktadır. Ancak zayıf dayanımlı hafif agregata kırmada aşırı kırılmaya maruz kalabilir. Hafif gözenekli agregata üretiminde en uygun kırıcı türü

kullanılmalıdır. Hafif agreganın aşırı kırılmaması gerekir. Şırnak, Cizre (Şırnak) Belediyeleri kapsamında, Hazır Beton tesisleri tarafından yılda ortalama yıllık toplam 400.000 ton agrega üretilmiş ve yaklaşık 300.000 ton agrega hazır beton üretiminde kullanılmıştır. Agreganın sertliği ve dayanıklılığı hazır beton dayanımı üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle kayanın patlatma ile parçalanması, çekiçli kırıcıda kırılması, elenmesi ve ekipmanlar agregada beton kalitesini etkiler (Simsek, O. 2004, Bieniawski, 1967).

Kalker türündeki agregalar genellikle alkali kimyasal nitelikte oldukları için sulu asidik atık veya asidik çözeltilerle kısmen çözülerek gözenekli hale getirilebilmektedir. Granül cüruf, kireçtaşı, tuf, şeyl, sleyt gibi orta sert kayaların gözenekleri geliştirilebilmektedir. Makro ve mikro gözenekler kimyasal çözmenin derecesine bağlıdır ve asidik maden atık suları gibi çözeltiler kullanılabilir. Bu asit etkileşim tekniği ısı sinterleme işleminden daha ekonomiktir. Kimyasal çözeltinin etkileşim süreci gözenek yapısını etkiler. Howard ve Datta kimyasal öğütmenin birçok avantaja sahip olduğu belirlemiştir (Howard ve Datta, 1977). Tosun (2014) kimyasal etkileşimin çimento hammaddelerinin öğütülmesinde yararlı olduğunu ve Bond Öğütülebilirlik değerlerinin %18 oranında 0.1M sülfürik asit ve atık asidik kömür madeni su ile geliştiğini belirlemiştir.

Hafif agrega kayalarının kısmi kimyasal çözülmesi ve gözenek oluşumu için kimyasal ve mineralojik nitelikleri irdelenmelidir. Bu çalışmada en uygun kimyasal etkileşime ve agrega türünü belirlemek için Şırnak ilinin taşocağı kalker, kömür ocağı atığı gözenekli kalker, marn, marnlı kalker ve şeyl türü kayalardan temsili numuneler alınarak kimyasal ve mineralojik parametreleri belirlenmiş ve irdelenmiştir.

Şırnak ilinin kalker, gözenekli kalker, marn, şeyl, türü hafif agregalar dayanım ve sertlik özelliklerine bağlı heterojen yapılar içermektedir.

Gözenekli kalker, kalker, marn, şeyl oluşan 5 adet yerel hafif agrega numunesi bu çalışmada kimyasal etkileşime tutulmuştur. Bu çalışmada seçilen örnek iki kademeli kırma, eleme işlemine tabi tutulmuştur. Sekonder ve tersiyer olarak adlandırılan bu çekiçli kırma sistemleri sonucunda malzeme nihai eleklerden geçirilerek istenilen 40mm altındaki boyutlarda ASTM C330 (2013) standardına uygun olarak sınıflandırılarak kırma taş üretiminin son aşaması tamamlanmıştır (Campiono ve La Mendola, 2004)

Marn ve marnlı kalkerin düşük gözenekli yapılarından dolayı özellikle hafif agrega olarak kullanımı mümkün değildir (Gündüz vd., 1998) ancak bu çalışma kapsamında kimyasal çözeltme ile gözenekli hale getirilerek değerlendirilebilirliği incelenmiştir.

Bu çalışmada temel olarak 20 adet 5x5x5cm küp marn ve marnlı kalker numuneleri laboratuvar koşulları altında nokta yüklemeye dayanımı ve tek eksenli basınç dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Makro, mikro yapısal ve mineralojik incelemeler yapılmıştır.

Hafif agreganın gözenekli yapısından ötürü darbe dayanımını belirlemek için modifiye bir darbe shatter testi uygulanmıştır.

ASTM C330 (2013) standardına uygun olarak No4, No200 eleklerden elenerek numuneler ayrılmış, her biri $\sqrt{2}$ ve $\sqrt[3]{2}$ serisine göre elenerek boyut dağılımları Gaudin Schuman ve (RRS)' e göre belirlenmiştir. Maksimum paketlenme yoğunluğundan yararlanarak numuneler hazırlanmıştır.

Hazır beton karışımının yaklaşık olarak ağırlıkça % 90-95'lik, hacimce ise % 80-85'lik bölümünü hafif agrega oluşturmaktadır. Hafif agreganın tipi, gözenekliliği, tane şekil yapısı, gradasyonu gibi özellikleri kullanımını etkilemektedir (Gündüz a, 2008, Gündüz b, 2008, Gündüz ve Uğur, 2005, Gündüz vd., 2007, Gündüz vd., 1998). Kimyasal etkileşimle yarı hafif agrega üretimini olanak sağlayan Şırnak ili kazan taban cürufu %50 ağırlık oranında (yaklaşık %75-80 hacim oranında katılarak hafif beton üretilmiştir. Hafif beton üretiminde kullanılacak agregalarda aranan özellikler esas olarak düşük yoğunluk ve yüksek gözenekli dayanım olmaktadır.

2.2. ŞIRNAK İLİ TAŞ OCAĞI KALKERİ VE MADEN ATIĞI KAYAÇLARIN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Şırnak ili ve çevresinde yol yapımında kullanılan ve kullanılacak agrega sahalarının başlıca çeşitli bölgelerde ve kömür ocaklarında bulunmaktadır:

Altere Kalker (Şırnak Merkez), Marnlı Kalker (Şırnak Merkez), Marn (Şırnak Merkez), Cizre Beyaz Gözenekli Kalker (Şırnak Cizre), Kasrik Altere Gözenekli Kalker, Cizre Dere Kalker, Cizre

Dere(kalker) Bölgesi, Kömür ocağı atığı Marn ve Şeyl Kırmataş ocaklarında üretilen agregalar birbirlerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar özellikle jeolojik yapı ve buna bağlı olarak seçilen işletme yöntemiyle ilgilidir. Şırnak ili kalkerleri ve marnlı beton agregası olarak kullanılabilir niteliktedir. Ancak bu bölgede sağlam bölümlerin kahvemsi-sarı renkli alterasyona uğramış birimlerden oluşmaktadır. Bu bölge agregaya üreten ocakların azlığı taşıma maliyeti nedeniyle genellikle beton karışımlarında tercih edilmektedir.

Şırnak ili bölgesinde yer alan yaşlı kalkerler sağlam beton şartnamelerine uygunluk göstermekte ve geniş bir alanda yer aldıklarından büyük rezervlerde bulunmaktadır. Ancak dere kenarları Siirt formasyonu olarak adlandırılan mesozoik yaşlı kumtaşı - killi şist içerebilmektedir. Daha homojen olmayan bir yapı göstermektedir. Özellikle killi şistlerin üretilen agreganın içine karışması hafif beton agregaların plastisite ve gözenek açısından sorun çıkarabilmektedir (Sarı ve Paşamehmetoğlu, 2005, Cavaleri vd., 2003). Şırnak ili Kasrik bölgesinde ileri mesozoik yaşlı kalkerler içerisindeki karstik boşluklar ve marnlı oluşumlar agregaya üreticilerinin üzerinde durması gereken en önemli problemdir. Ayrıca bu bölgedeki agregaların %2,7 - %3,1 arasında değişen su emme oranları yapılan karışım tasarımlarında hafif beton üretiminde avantaj sağlar. Genellikle altere gözenekli kalker, dolomitik kalkerlerin yer aldığı bölgede faylanmalar sonucu oluşan kırıklara yerleşen kirli - çamurlu dolgular, agregaya üretim sahalarında yer yer tabaka aralarına, kırık ve çatlaklara yerleşmiş killi çamurlu oluşumlar görülebilmektedir. Hafif agregaya üretiminde belirgin gradasyon sorunu oluşturmaktadır.

3 MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Kimyasal analizler ve parlak kesit İncelemesi

Numunelere ait mineralojik bileşimler Standard kimyasal Ca, Mg ve silika analizleri yardımıyla tespit edilmiştir. Numuneler ilk olarak çeneli kırıcıda 40 mm den 10mm'nin altındaki boyutlara getirilmiş ve 0.1mm ye havanda öğütülerek homojenize edilmiştir. Toz numuneler silika içeriği için platin krozede HF ile çözeltiye yakılmıştır. Deneylerde kullanılan Şırnak ili çevresinden temsili olarak temin edilmiş kayaların

kimyasal bileşimi Çizelge 1 de verilmiştir. Marn ve marnlı kalkerde silika miktarı azalmıştır.

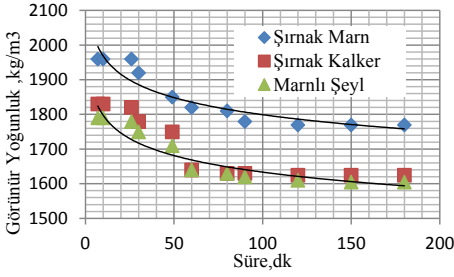
Parlak kesit hazırlanmasından önce akışkan bir sarı renkli epoksi reçine örneklere orta derecede bir vakum ile emdirilmiştir. Bu reçine gözeneklere nüfuz ederek mikroskop altında gözeneklerin daha kolay görünmesini sağlamaktadır.

Çizelge 1. Şırnak ili kalker, marn ve şeylin kimyasal analiz değerleri

% Bileşen	Şırnak Kalkeri	Şırnak Marnlı Kalkeri	Şırnak Marnı	Şırnak Gözenekli Kalkeri	Şırnak Şeyl
SiO ₂	3,53	9,42	24,14	2,12	48,53
Al ₂ O ₃	2,23	6,53	12,61	1,71	24,61
Fe ₂ O ₃	0,59	4,48	7,34	0,58	7,59
CaO	49,48	39,23	29,18	45,22	9,48
MgO	2,20	2,28	4,68	7,41	3,28
K ₂ O	0,41	0,53	3,32	0,40	2,51
Na ₂ O	0,35	0,24	1,11	0,21	0,35
Kızd.Kayb	46,19	26,11	21,43	48,04	3,09
SO ₃	0,32	0,21	0,20	0,02	0,32

3.2 Kimyasal Etkileşimin Agregaya Üzerine Etkisi

Kimyasal olarak asidik sular ve asidik maden suyu yardımıyla agregalar çözeltilecek gözenekli hale getirilmiştir. Orijinal Agregaya tipinin kireçtaşı olan temel kimyasal yapısını bunu mümkün kılmaktadır. Bu amaçla 50-70 °C 1M HCl ve 1M H₂SO₄ asit ile muamelesinde çeşitli agregalar üzerinde etkisini değerlendirmek amacıyla farklı tipte agregalar 1-2kg'lık numuneler olarak 20lt asit kaplarında 1,2 ve 3gün bekletilmiştir. Ürünler yıkanarak ağırlık değişimi ve görünür özgül ağırlık ve hesapla gözenek değişimi belirlenmiştir. Kimyasal etkileşime göre görünür 1ltlik kapta agregaya görünür özgül ağırlık değişimi Şekil 1 de gösterilmektedir.



Şekil 1. Şırnak Marn ve Kalker ve Kimyasal etkileşim sonrası görünür özgül ağırlık değişimi

Etkileşim görüntüsü kalker ve marn için Şekil 2de gösterilmiştir.

Kimyasal etkileşim sonrasında, gözenekli yarı hafif agrega numuneleri Modifiye Darbe shatter dayanımı için test edilmiştir. Belirli gradasyonlar da hazırlanan ürün yarı hafif agregalara hafif Şırnak kazan cürufu %50 ağırlık oranında katılarak karışımlar elde edilmiş (Sarı ve Pasamehmetoglu, 2005) ve bu hafif karışımlara farklı miktarlarda çimento bağlayıcı ilave edilerek (Demirdag ve Gündüz, 2008, Gündüz a, 2008, Gündüz b,2008) hafif beton numuneler üretilmiştir. Kaba birim ağırlık, dolu boşluk, boşluk yüzdesi ve dayanım ilişkileri çıkarılmıştır. Optimum yarı hafif agrega içeriği belirlenmiştir.

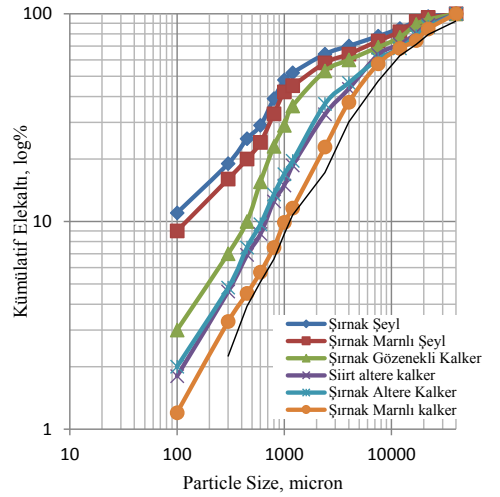
3.3 Tane boyutu analizleri

Yaklaşık 1-0,5 kg lık temsili numuneler 20 dk lık standart elek serileri ile elenmiştir (ASTM C136). ASTM C330 standardına uygun olarak No4 ve No200 eleklerden elenerek iri ve toz numuneler ayrılmış, her biri $\sqrt{2}$ ve $\sqrt[4]{2}$ serisine göre elenerek boyut dağılımları Gaudin Schuman ve RRS e göre belirlenmiştir. Kayaçların elek analiz sonuçları Çizelge 2, Şekil 3 ve Şekil 4 de verilmiştir.



Şekil 2. Şırnak a Marnı, b Kalkeri ve c,d.

Kimyasal etkileşim sonrası agrega görüntüsü



Şekil 3. Agregaların Gaudin Schumann Tane Boyut Dağılımlarının Değişimi.

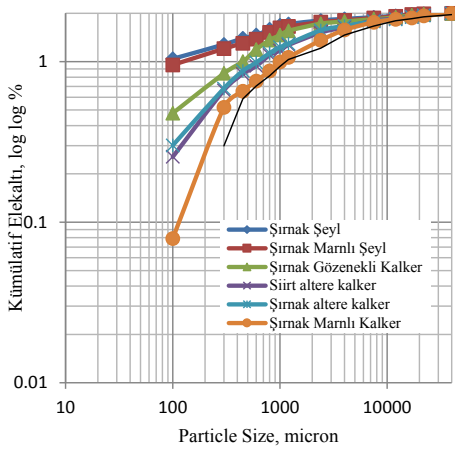
Bu testler sırasında Gaudin Schuman dağılım indeksi kaba paketlenme gözenekli hafif beton üretimi için irdelenmiştir. Buradaki dağılım oranı $\log \%/\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Bu testlere göre Gaudin Schuman tane boyut yaklaşımının RRS göre daha uygun görünür yoğunluğu sağladığı gözlenmiştir.

Çizelge 2. Agregaların Elek Analizi Sonuçları

Agrega	Elek	32	16	8	4	2,8	1,2	0,4	0,2
Şırnak şeyl	0-5				99	95	76	27	12
	5-15		100	48	0,2				
	15-40	98	3						
Şırnak Marnlı şeyl	0-5				99	87	66	21	9
	5-15		100	38	0,2				
	15-40	98	2						
Şırnak Gözenekli Kalker	0-5				99	79	60	19	7
	5-15		100	28	0,2				
	15-40	96	1						
Şiirt Kalker	0-5				99	77	54	17	6
	5-15		100	24	0,0				

	15-40	94	0,2						
Şırnak Kalker	0-5			99	76	52	16	5	
	5-15		100	23	0,0				
	15-40	93	0,2						
Şırnak Marnlı Kalker	0-5			99	72	48	11	3	
	5-15		100	21	0,0				
	15-40	88	0,1						

40mm maksimum tane boyutundaki tanelerin boşluk oranı 1lt lik kalıpta kaba ağırlık ölçümü ve gözenek % hesapla [v: % Boşluk oranı ile tanelerin % hacim doluluk oranı $1/1+v$ olarak, gözenek%: $1-(1/1+v)$] belirlenmiştir.



Şekil 4. Agregaların RRS Tane Boyut Dağılımlarının Değişimi

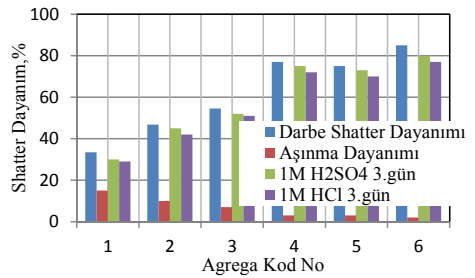
3.4 Darbe Dayanım Testleri

Yarı hafif agregaya numuneleri basınç dayanımı ve Darbe shatter dayanımı testine tabi tutulmuş ve ezilen ürünün boyut dağılımı ile darbe mekanik dayanım belirlenmiştir (ASTM D6024-07). Sınıflandırılmış agregaya numuneleri sabit 5kg luk darbe balyoz ağırlığının $\phi 8\text{cm} \times 50\text{cm}$ kovanda 50cm düşme etkisi ile boyutunun tozlaşması olarak irdelenmiş ve ürün hafif beton numunelerle kıyaslanmıştır. Bu teknolojik uygulamalar ile yerel doğal taşların hafif yapı agregası olarak değerlendirilebilirliği daha da geliştirilebilmektedir. Darbe dayanımı testlerinde 5kg lik balyoz ağırlık 4 kere 50cm yükseklikten 8 cm iç çapındaki çelik kovan içerisindeki $-40+25\text{mm}$ lik agregaya üzerine düşmeye bırakılarak, göreceli olarak daha zayıf 5 mm altı ve 25 mm üzeri ağırlık yüzdesi olarak sert, dayanımı daha yüksek

olarak irdelenmiştir. Sonuçlar Şekil 5 de gösterilmiştir.

3.5 Nokta Yükleme ve Basınç Dayanım Testleri

Test numuneleri $5 \times 5 \times 5$ cm bloklar olarak üretilmiş ve 10 adet numune tek eksenel basınç dayanımı testine ELE markalı preste kırılarak %95 doğruluk oranında belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 6 ve 7 de verilmiştir.

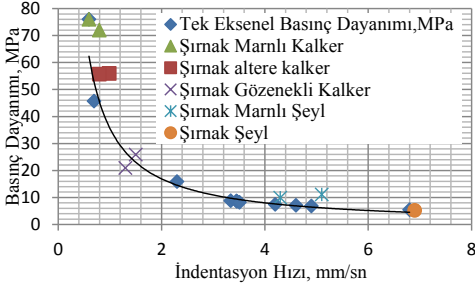


Şekil 5. Darbe dayanımı test sonuçlarının şematik görüntüsü;1. Şırnak Şeyl 2. Şırnak Marnlı Şeyl 3. Şırnak Gözenekli Kalker 4. Şırnak Altere Kalker 5. Siirt Altere Kalker 6. Şırnak Marnlı Kalker

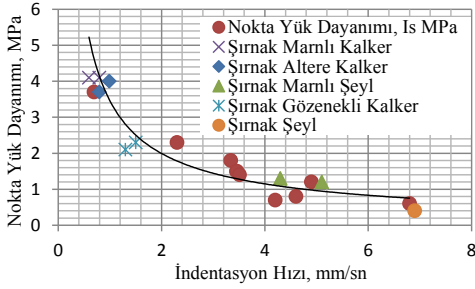
3.6 Bitümlü Agregaya Beton Üretimi

Bu çalışmada %50 ağırlık oranında Şırnak ili 2 gün kimyasal etkilere uğramış kalker agregaya ile %50 ağırlık oranında Şırnak Kazan cürufu karışım hafif agregaya olarak hafif beton üretiminde değerlendirilmiştir. Cüruf numuneleri 40mm altındaki boyuta kırılmış olan agregaya kullanılmıştır (Erdoğan, 2003, Chen ve Liu, 2008, Demirboğa vd., 2001). Agregaya karışım oranları en büyük dane boyutu 40 mm olmuştur. Hafif beton üretiminde TS 706 da verilen sınır değerler arasında kalacak şekilde %50 0-5 mm hafif agregaya (%50 agregaya), %25 5-15 mm kırma hafif agregaya (%50 cüruf) ve %25 15-40 mm kırma (%50 cüruf) olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada C 20 sınıfı agregaya betonların üretilmesi hedeflenmiştir. Bağlayıcı olarak CEM IV 32,5 tipi Mardin Limak çimentosu kullanılmıştır. Su/ Bağlayıcı (S/B) oranı ön deneyler sonucunda 0,50 olmasına karar

verilmiştir. Her bir seride bağlayıcı miktarının %10, %20, %25 ve %30 oranlarında çimento 4 seri 20 adet 5x5x5 cm küp beton üretilmiştir ve 28 günlük kür sonunda basınç dayanımı belirlenmiştir.



Şekil 6. Tek eksenli Basınç Dayanımı test sonuçlarının İndentasyona bağlı değişimi.



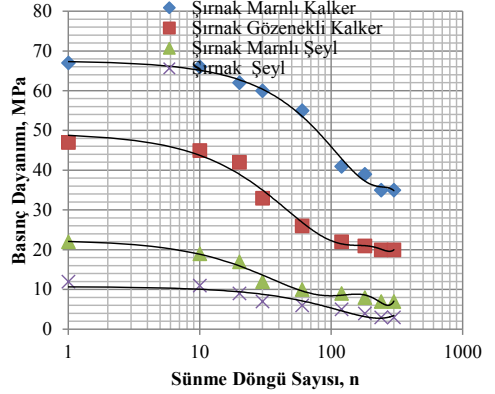
Şekil 7. Nokta Yükleme Dayanımı test sonuçlarının İndentasyona bağlı değişimi.

3.7 Don-Mikrodalga Kurutma Sünme Darbe Dayanım Testleri

Beton agrega numuneleri döngüsel olarak modifiye sünme testine tabi tutulmuş ve ürün blok agrega beton basma dayanımı ile 5 kg lik çelik bilya darbe mekanik dayanımı belirlenmiştir. (ASTM D6024, 2007). Sınıflandırılmış agrega numuneleri sabit 5kg luk darbe balyoz ağırlığının $\phi 8\text{cm} \times 50\text{cm}$ kovan da 50cm düşme etkisi ile boyutunun tozlaşması olarak irdelenmiş ve ürün beton basma dayanımı ile kıyaslanmıştır. Bu teknolojik uygulamalar ile yerel doğal taşların hafif yapı agregası olarak değerlendirilebilirliği daha da geliştirilebilmektedir. Darbe dayanımı testlerinde 5kg lik balyoz ağırlık 4 kere 50cm yükseklikten 8 cm iç çapındaki çelik kovan içerisindeki 50x50x25mm lik beton blok

agrega üzerine düşmeye bırakılarak, göreceli olarak daha zayıf 5 mm altı ve 25 mm üzeri ağırlık yüzdesi olarak sert, dayanımı daha yüksek olarak irdelenmiştir. Sonuçlar Şekil 8 de gösterilmiştir.

Tane şekil değiştirmeleri fotoğraf tekniği ile bir üst boyut şekil değiştirmenin olduğu varsayılarak, yakın hacim değişimlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 8. Sünme Basınç Dayanımı test sonuçlarının Döngüye bağlı değişimi.

4 SONUÇLAR VE YORUM

Kimyasal muamele edilmiş numuneler de küçük tane boyutlarında kimyasal etki daha da artmıştır. Yaklaşık olarak 5mm agregada % 13,6 olan gözenek 25mm fraksiyonunda %9,2 de kalmıştır. Sonuçlar Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1 de 2 gün lük kimyasal etkileşimin yeterli olduğunu kanıtlamıştır. Çünkü çözünme işlemi çözelti alkali kireç tuz doygunluğuna ulaşmıştır. Kalker numune de gözenek % 13,6 ulaşmıştır.

Gözenekli kalker dokusu, kimyasal etkileşim sonucu ve petrografik değişimler Şekil 2'de görülmektedir. Şırnak altere kalkerinin %2,1-3,2 oranında silikat miktarının değiştiği ve gözenek boyutunun 1-3mm makro 50-300 mikron boyutunda mikro gözenek olarak yer aldığı belirlenmiştir. Bu gözenek miktarı Şırnak marlı kalkerinde %13,4-14,8 silika içeriğinin mikro kristalin yapısında 5-30 mikron boyutunda mikro gözenek olarak bulunmaktadır. Marl kalkerde ve marl da kimyasal etkileşimin derecesi silika içeriğine ve mikro kristalin gözenek yapısını bağlı olarak yeterli olmamıştır. Düşük gözenek en büyük nedendir, numunenin gözenek katı

kaya dokusu marn bileşenine dayalıdır ve düşük değerdedir.

Şekil 3 ve 4 e göre en ideal gradasyon Gaudin Schumann yaklaşımı ile belirlenebilmektedir. Marnlı kalkerde dağılım faktörü %81 re yükselmiş, Şeyl de ise %45 oranına düşmüştür.

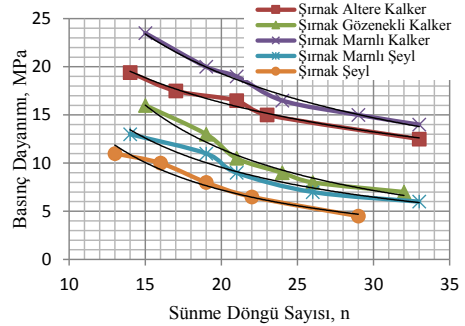
Kimyasal etkileşim süresinin etkisi test edilmiştir. 3 günlük muamelede numunelerin gözenekleri yükselmiştir. Şekil 5'de gösterildiği gibi Darbe Shatter dayanım değerleri iki günlük sürede yaklaşık % 24 azalmıştır. Gözenek oranı da kalker ve şeyl örneklerinde benzer olmuş % 17 oranında artmıştır. Masif yapılarının orijinal gözenek büyüklüklerinin ve tane yapıların benzemesinden kaynaklanmıştır. Ayrıca şeyl taşı içerisindeki kalsit ve dolomit bileşeni bunu sağlamıştır.

Darbe dayanımı ise iki günlük ve üç günlükte değişmemiştir. Bu değerlendirmelerde darbe dayanımı testinde elde edilen değerler Şekil 5te görülür.

Homojen ince taneli yapı dayanımı daha da arttırmıştır. Özellikle Şırnak marnında heterojen silikat bileşen darbe dayanımını yüksek oranda tutmuştur. Şırnak ve Siirt kalkerlerinin silika içeriği az olduğu için yumuşak niteliktedir ve darbe ve aşınma dayanımı daha düşük görülmüştür.

Şekil 5 aşınma dayanımı değerlerini göstermektedir. Kalker numunelerinin içerdiği silikatın miktarına bağlı olarak değişmiştir ve ayrıca mikro yapısal özelliklerine ve gözeneğe de bağlı olarak değişmiştir. Aşınma koşullarına gözenek yoğunluğunun aşınma gelişiminde ve buna bağlı olarak kırılma yüzeylerin oluşmasına ve daha düşük aşınma dayanımı değerlerinin gözlenmesine etken olmuştur.

Şırnak marnlı kalker ve marnlı şeyl kayaları aynı tip olmasına rağmen, farklı aşınma ve dayanım özellikleri vardır. Deneysel çalışmalarda, Şırnak kalker, marnlı kalkerinin darbe dayanımları diğer örneklerden daha yüksektir. Bu durum nedeni, bunların gözenekliliği ve kil dokusudur.



Şekil 9. Agrega Beton Blokların Sünme Tek Eksenli Basınç Dayanımı test sonuçları

Tek eksenli basınç dayanımı testlerinde en yüksek dayanım değerlerinin kalkerlerin türüne ve silikat bileşimlerine bağlı olarak 76 – 35 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir. Düşük tek eksenli basınç dayanımı değerine sahip Şeyl gözenek oranı % 5 in üzerine çıkmaktadır. Büyük dayanım değerlerinin elde edildiği Siirt altere kalkerine ise % 4'ten fazla silikat fazları gözlenmiştir. Şırnak gözenekli kalkerine özellikle yoğunluğu düşük % 3,6 gözenekli matriste 39,3 MPa iken %7,4 gözenekli matriste 34,6 MPa düştüğü belirlenmiştir.

Şekil 6 da farklı gözeneklerde ve kaba yoğunluktaki kalkerlerin basınç dayanımları incelendiğinde benzer değişim gözlenmiştir. Açıkça görüldüğü gibi tek eksenli basınç dayanımı testlerinde gerilme-şekil değiştirme diyagramı incelendiğinde marn ve kalkerlerin yüksek dayanım sergilediği bunun da %0,5-1,8 gözenek miktarından kaynaklandığı görülmektedir.

Şekil 7 nokta yük dayanım değerlerinden de görüldüğü gibi iri taneli yapı, marn matristen daha zayıf ve daha kırılma heterojen olduklarından heterojen sert marn daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir.

Şekil 8 nokta sünme yük dayanım değerlerinden de görüldüğü gibi iri taneli yapı, dondan ve don döngüsünden en fazla etkilenen marnlı beton blok daha zayıf ve daha kırılma olduklarından heterojen sert marn daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir.

Şekil 9 üretilen agrega beton blokların dayanım değerlerinden de görüldüğü gibi marnlı yapı, kimyasal etkileşimi ve üretilen agrega beton daha dayanıklı kılmıştır. Heterojen sert marn daha yüksek gözeneğe ulaşmıştır. Buda altere kalkerde kimyasal etkileşimin uygunlukla durduğu ve

sağlam blok üretiminde yetersiz olduğunu göstermiştir.

5 SONUÇ

Taş ocaklarında en azından gradasyon yapılması ve kalkerin işlenmesi hafif beton üretiminde büyük yarar sağlayacaktır.

Betonda boşluksuz yapının oluşmasında en büyük etken, agregalar arasındaki düzenli yüzey teması ve kenetlenmedir. Bunun içinde iri agregalar arasındaki boşluğu doldurmak amacıyla değişik oranlarda (ince agreganın özelliklerine bağlı olarak) hafif ince agregalar üretimi ve gözenekli kılacak teknolojilerin kullanılması gerekir. İnce agrega miktarının hafif betonda optimum seviyelerde kullanılması son derece önemlidir.

Kimyasal etkileşimde sülfürik asitli çözeltide 2 günlük sürede bekletme gözenek miktarını yaklaşık %27-37 oranında arttırmıştır. Yaklaşık 0,190 kg/lt daha hafif yarı hafif agrega üretimini sağlamıştır.

Basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde gözenek miktarı arttıkça basınç dayanımı değerlerinin düştüğü istenilen dayanımı % 50 agrega üstündeki karışımlarda sağlamadığı daha fazla agreganın dayanım kazandırmadığı görülmüştür.

Yüksek oranda dayanımlı cürufları içeren hafif agregalı hafif beton bloklar yüksek dayanım değerleri gösterebilir de darbe dayanım değerleri düşük olabilmektedir. Böylelikle en ideal sıkı paketlenme ile de bu hafif agregadan üretilen blokların dayanımları da 18-24 MPa çıkabilmektedir.

Bu testlere göre Gaudin Schuman tane boyut yaklaşımının RRS göre daha uygun yaklaşımı ve sıkı paketlenme yoğunluğu sağladığı gözlenmiştir. Üretilen belirli iri ve ince boyutlu agrega numuneleri daha geçirimsiz ve gözenekli blok beton üretimi sağlamıştır.

En yüksek dayanım değerleri ise agreganın genel dokusu ve mikro yapısal özellikleri tarafından kontrol edilmektedir. Pomza ve cüruflar ile birlikte hafif beton üretiminde başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Darbe dayanım değerlerinin hafif beton blok dayanımı ile doğrudan ilişkili olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- ASTM C 330, 2013. Standart Specifications For Lightweight Aggregates for Structural Concrete, ASTM, Philadelphia.
- ASTM C 136, 2013. Standard test method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, Pennsylvania.
- ASTM D6024-07, 2007. Standard test method for Ball Drop on Controlled Low Strength Materials, ASTM, Pennsylvania.
- Bieniawski, Z.T. 1967. Mechanism of brittle failure of rock Part I - Theory of fracture process. *I. J. of Rock Mech. and Min. Sc. and Geomech. Abstr.* 4: 4, s. 395-406
- Campione G, La Mendola L , 2004. Behavior in compression of lightweight fiber reinforced concrete confined with transverse steel reinforcement. *Cem Concr Compos* 26:645-656
- Cavaleri L, Miraglia N, Papia M., 2003. Pumice concrete for structural wall panels. *Engineering Structures*, 25:s.115-125
- Chen, B., Liu, J., 2008. Experimental Application Of Mineral Admixtures in Lightweight Concrete With High Strength And Workability, *Construction and Building Materials* 22, s. 655-659)
- Demirboğa, R., Orung, I., Gül, R., 2001, Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low-density concretes. *Cement and Concrete Research*, 31: s.1627-32
- Demirdag S, Gündüz L , 2008. Strength properties of volcanic slag aggregate lightweight concrete for high performance masonry units. *Construction Building Materials*, 22:s.135-142
- Doel, A., 2007. Lightweight aggregates for use in concrete, *Concrete*, 41, 7, s.36-37.
- Erdoğan, T.Y., 2003. *Beton*. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık Ve İletişim A.Ş. Ankara
- Gündüz, L. a, 2008. Use of quartet blends containing fly ash, scoria, perlitic pumice and cement to produce cellular hollow lightweight masonry blocks for non-load bearing walls. *Construction Building Materials*, 22, s. 747-754
- Gündüz, L. b, 2008. The effects of pumice aggregate/cement ratios on the low-strength concrete properties, *Construction and Building Materials*, 22,5, s721-728
- Gündüz L, Bekar M, Şapçı N , 2007. Influence of a new type of additive on the performance of polymer-lightweight mortar composites. *Cem Concr Compos* 29:s. 594-602
- Gündüz, L., Uğur, İ., 2005. The effects of different fine and coarse pumice aggregate/cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures, *Cement and Concrete Research*, 35, 9, s. 1859-1864
- Gündüz L, Sarişik A, Tozaçan B, Davraz M, Uğur İ, Çankıran O (1998) Pumice technology, vol 1.

- Süleyman Demirel University, Isparta. pp 275–285
- Howard, P.H. Datta, R.S., 1976, Chemical Cominution: A Process for Liberating the Mineral matter from Coal, Coal Desulfurization (Ed. T. Wheelock) Washington, ACS Series 64, pp.58-64.
- Howard, P.H. Datta, R.S., Hanchett, A. 1977, Pre-combustion Coal Cleaning Using Chemical Cominution: NCA/BCR Coal Conference and Expo Coal: Energy for Independence, Lousville.
- Moulia, M., Khelafib H., 2008. Performance Characteristics Of Lightweight Aggregate Concrete Containing Natural Pozzolan, *Building and Environment* , 43, s. 31–36
- Park, C. K. Noh, M. H. Park, T. H. , 2005. Rheological Properties Of Cementitious Materials Containing Mineral Admixtures, *Cement And Concrete Research*. s 842-849
- Piora LS, Piora IL , 2004. Production of expanded-clay aggregate for lightweight concrete from non-selfbloating clays. *Cem Concr Compos* 26:s.639–643
- Sarı, D., Pasamehmetoglu, A. G., 2005, The effects of gradation and admixture on the pumice lightweight aggregate concrete, *Cement and Concrete Research* , 35, 5, s. 936-942
- Simsek, O. 2004. *Beton ve Beton Teknolojisi*. Seçkin Yayıncılık, I. Baskı, Ankara
- Szilagyi, H. Terec L., 2013. Bricks recycled aggregates for structural green lightweight concrete, *13th SGEM GeoConference on Nano, Bio And Green Technologies For A Sustainable Future*, www.sgem.org, SGEM2013 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-06-3 / ISSN 1314-2704, s. 375 - 380 doi:10.5593 /sgem 2013/bf6/s26.004
- Tosun Y.I., 2014, Chemical Activated Grinding of Cement RawMaterials, Proceedings of XIVth International Mineral Processing Symposium, Kuşadası, Turkey.
- TS EN 12390-3,-4 2003. Beton-Sertlesmis Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Değişik Doğaltaş Kırmataşların Kilitli Beton Parke Bloklarının Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Different Stone Aggregates to the Mechanical Properties of Locked Concrete Paving Stones

M.Y. Çelik, M. Ersoy

Afyon Kocatepe Üniv., Afyon Meslek Yüksek Okulu., Afyonkarahisar

A. Şahbaz

Akarbaşı Mh. Atatürk Blv. Çetin Apt. 65/2 Odunpazarı, Eskişehir.

ÖZET Akarsu yataklarından üretilen agregaların azalması nedeniyle kırmataş agrega üretimi her geçen gün önem kazanmaktadır. Bu nedenle değişik doğaltaş agregaların kullanılması giderek artmaktadır. Bu çalışmada 3 farklı doğaltaş (bazalt, andezit ve mermer) agregası kullanılarak, TS 2824 EN 1338 standardına uygun olarak kilitli beton parke blokları üretilmiş ve bu agregaların kilitli beton parke bloklarının mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında, en uygun karışım oranları ile bazalt, andezit ve mermer agregalarından üretilen kilitli parke bloklarına 3 günlük, 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımı, aşınma dayanımı, donma-çözünmeye karşı dayanım ve su emme testleri yapılmıştır. Kilitli parke bloklarının 3, 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı sonuçları bazalt için sırasıyla 2.95, 3.68 ve 4.48 MPa, andezit için 2.08, 2.96, 3.62 MPa ve mermer agregaları için 2.76, 3.68, 4.40 MPa olarak bulunmuştur. Yapılan testlere göre her üç agreganın da kilitli beton parke blokları üretiminde kullanılabilir özellikte olduğu belirlenmiştir.

ABSTRACT The production of crushed stone aggregate is gaining importance every day due to the reduction of aggregate produced from river beds. Thus, the usage of different natural stone aggregates has been increasing. In this research, 3 different natural stone (basalt, andesite and marble) aggregates are used in order to produce locked concrete paving stones according to TS 2824 EN 1338 standard. The effect of these aggregates on mechanical properties of locked concrete paving stones are analysed. This analysis consists of compressive strength, abrasion resistance, resistance to freeze-thaw and water absorption tests which were conducted for 3-days, 7-days and 28-days. The tests were applied to the paving stones made from optimal mixture ratios of basalt, andesite and marble aggregates. 3-days, 7-days and 28-days compressive strength test results for locked concrete paving stones are as follows respectively: for basalt aggregates 2.95, 3.68, 4.48 MPa for andesite aggregates 2.08, 2.96, 3.62 MPa and for marble aggregates 2.76, 3.68, 4.40 MPa. According to the test results, it was determined that all of the aggregates mentioned above can be used for production of locked concrete paving stones.

1 GİRİŞ

Beton, Romalılardan beri kullanılan, Türkiye'de ve dünyada en yaygın kullanım alanı bulunan bir yapı malzemesidir. Joseph Aspdin'in 1824 yılında Portland Çimentosunu bulmasıyla birlikte başlayan ve

1800'lü yılların sonlarına doğru betonarme, 1930'lu yıllarda da önerilmeli beton yapı sistemlerin geliştirilmeye başlanmasıyla hızlanan süreçte, beton vazgeçilmez bir yapı malzemesi olmuştur (Özkul vd., 1999).

Beton çimento, agrega, su ve bazen de katkı malzemelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit bir malzemedir. Çimento, su ile birleştirildiğinde oluşan çimento hamuru, agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevini yapar. Betonun iskeletini oluşturan ve doğal taş ocaklarında kırma (boyut küçültme) işlemlerinden sonra elde edilen kırma taş, kum ve çakıl gibi malzemeye agrega denilir.

Ülkemizde agrega üretimi taşocaklarından, dere yataklarından ve denizlerden yapılmaktadır. Bu çeşitlilikte, arazi yapısı önemli rol oynamaktadır. Akarsu yataklarından üretim, son yıllarda çevre koruma kanunlarının getirdiği kısıtlamalarla azalma eğilimine gitmiştir. Agreganın üretimi olarak taşocakları her geçen gün önem kazanmaktadır (Yılmaz ve Arıoğlu, 2006)

Heterojen bir yapıya sahip olan betonun özellikleri, kullanılan malzemelerle yakından ilgilidir. Beton hacminin yaklaşık %60-%85'ini oluşturan agreganın kalitesi ve özellikleri oldukça önemlidir. Agreganın kalitesini belirleyici faktörler arasında kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı, rengi gibi özelliklerin bulunması gerekmektedir.

Hazır betonun yanında diğer bir beton ürünü olan kilitli beton parke blokları, yurt dışından sonra ülkemizde de yer döşeme ve kaplama malzemesi olarak tercih edilmeye başlanmıştır. Hazır betonla benzer karışımlara sahip olan kilitli beton parke blokları, özel parke makinelerinde kalıplar yardımıyla üretilmektedir. Kilitli beton parke bloklarının kullanılmasındaki en önemli nedenler; işçiliğinin ve nakliyesinin kolay olması, her türlü iklim koşullarında kullanılabilirliği, onarım ve bakımının basit olması, en önemlisi de diğer kaplama malzemelerine göre daha ucuz olmasıdır. Son yıllarda özellikle belediyelerin, sitelerin, park ve bahçelerinin çevre düzenleme işlerinde kullanılmakta ve önemini her geçen gün arttırmaktadır.

Bu çalışmada değişik doğaltaş kırma agregaları (bazalt, andezit ve mermer) kullanılarak oluşturulan kilitli beton parke

bloklarının mekanik özellikleri incelenmiştir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

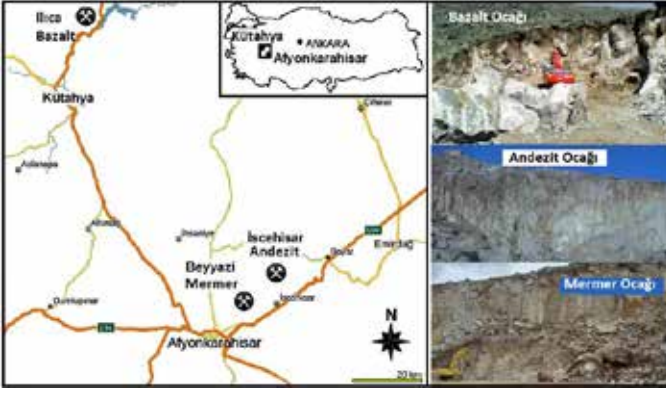
Deneylerde kullanılan numunelerden andezitler; Afyonkarahisar ili İncehisar ilçesinde bulunan İyigün Andezit Doğaltaş San. Tic. Ltd. Şti.'ne ait andezit ocağından, mermerler; Afyonkarahisar merkez Beyyazı köyünde bulunan Sağlamlar İnş. Taah. San. Tic. Ltd. Şti. firmasına ait taş ocağından ve bazaltlar; Kütahya Ilıca köyünde bulunan bazalt ocağından alınmıştır. Numune temininde TS 707 normuna uygun hareket edilmiştir. Numunelerin alındığı ocak lokasyon haritası Şekil 1'de verilmiştir.

Kilitli parke bloğu üretiminde CEM I-42,5R portland çimentosu kullanılmıştır. Kilitli beton parke blokları, Yontar marka KPM-36 parke bloğu üretim makinesinde üretilmiştir. Cihaz otomatik, kilitli ya da kilitsiz parke bloklarını seri olarak üretebilen, bir tahta palet üzerinde 80 mm yüksekliğinde 10 sıra üst üste çok katlı üretim yapabilen bir beton parke makinesi olup, makinenin hareketi bir PLC mikro işlemci bilgisayarla programlanmıştır. Uygulanan maksimum basınç 200 bara (atm) ulaşmaktadır (Şahbaz, 2010). Üretilen parke blokları 80 mm yüksekliğinde, 200 mm uzunluğunda ve 160 mm genişliğindedir (Şekil 2).

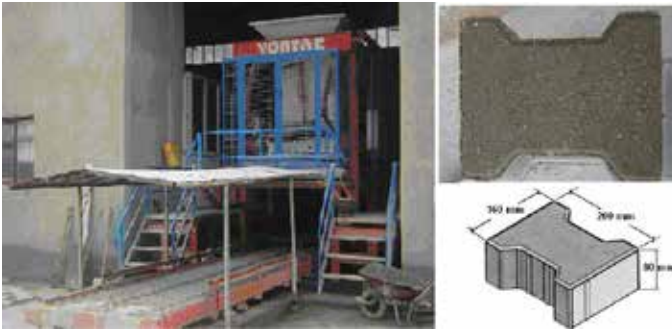
2.2 Yöntem

Çalışmalarda kullanılacak parke bloklarının, optimum karışım oranını belirlemek için, 10 adet değişik reçete hazırlanmıştır. Bu reçetelerde çimento miktarı, 0-4 ve 4-12 mm agrega oranlarında değiştirilmiştir. Şahit numune için mermer agregaları kullanılarak her bir reçeteden 3 adet kilitli parke bloğu üretilmiştir. Reçetelerle hazırlanan kilitli parke bloklarına 3 günlük, 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımı testi uygulanmıştır. Reçete ağırlık (kg) oranları Çizelge 1'de verilmiştir. Reçetelerle üretilen kilitli parke bloklarının 3 günlük, 7 günlük ve 28 günlük

kür süreleri sonunda dayanım sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Numunelerin alındığı ocaklar ve lokasyon haritası.



Şekil 2. Parke bloğu üretim makinesi, üretilen parke bloğunun görünümü ve boyutları

Çizelge 1. Kilitli parke bloklarının optimum karışım oranını belirlemeye yönelik reçete oranları

Reçete No	Agrega 0-4 mm (kg/m ³)	Agrega 4-12 mm (kg/m ³)	Çimento (kg/m ³)
1	1200	500	170
2	1200	500	180
3	1200	500	190
4	1300	400	180
5	1350	350	180
6	1400	300	180
7	1100	600	180
8	1000	700	180
9	1300	400	170
10	1350	350	170

Çizelge 2. Çalışmalarda kullanılacak reçeteyi belirlemeye yönelik üretilen parke bloklarının, yarmada çekme dayanımlarının ortalama değerleri

Reçete No	3 Günlük MPa	7 Günlük MPa	28 Günlük MPa
1	2.25	3.06	3.75
2	2.43	3.69	4.20
3	2.55	3.81	4.51
4	2.14	3.58	3.94
5	2.07	3.19	3.84
6	1.84	3.05	3.32
7	1.79	2.90	3.45
8	1.57	2.85	3.06
9	2.02	2.91	3.63
10	2.10	3.00	3.54

Dayanım sonuçlarına göre maliyeti ucuz ve dayanımı yüksek malzeme elde etmek için optimum karışım oranlı reçete, kilitli parke bloğu üretimi için kullanılmıştır. Şahit agregalarla yapılan 10 adet karışım oranı içerisinde 2 numaralı reçete seçilmiştir. Bunun nedeni, en iyi dayanım sonucu veren reçete 3'e göre daha az çimento ile istenilen dayanım değerlerinin elde edilmesi ve düşük maliyetli olmasıdır. Bu reçeteye göre kilitli parke bloğu üretiminde, 1500 kg/m³ 0-4 mm, 500 kg/m³ 4-12 mm agrega, 180 kg/m³ çimento ve yaklaşık 80 lt/m³ su kullanılmaktadır.

Çalışma kapsamında, en uygun karışım oranları ile bazalt, andezit ve mermer agregalarından üretilen kilitli parke bloklarına 3 günlük, 7 günlük ve 28 günlük kür süreleri sonunda basınç dayanımı, aşınma dayanımı, donma-çözünmeye karşı dayanım ve su emme testleri yapılmıştır. Söz konusu testler Sağlamlar İnş. Taah. San. Tic. Ltd. Şti. tesislerinde yapılmıştır.

Kilitli parke numunelerinin yarmada çekme dayanımı testleri Kalitest marka tek eksenli basınç dayanımı cihazında TS 2824 EN 1338'e (2005) uygun olarak yapılmıştır. Kırma işlemi, kapasitesi 20 ton olan cihaz ile 200 kg/s basınç uygulanarak

gerçekleştirilmiştir. Numune takımının sekiz veya daha az sayıda bloktan oluşması ve her bir bloktan elde edilen dayanımın (T), 3,6 MPa'dan, kırılma yükünün 250 N/mm'den daha düşük olmaması hâlinde numune takımı ve tekabül eden mamul grubu kabul edilir (TS 2824 EN 1338, 2005). Numunenin dayanımı (T), eşitlik (1) ile hesaplanır:

$$T = 0,637kP/A \quad (1)$$

Kilitli parke bloğunda aşındırmaya karşı direnci TS 2824 EN 1338 (2005) standardına göre yapılmıştır. Deney, kaplama elemanı üst yüzünün standart şartlar altında aşındırıcı malzeme (zımpara tozu) kullanılarak aşındırılması yoluyla gerçekleştirilmiştir. Sonuç, kalibrasyon katsayısı ile düzeltilen ve daha sonra en yakın 0,5 mm'ye yuvarlatılan miktardır (mm) (TS 2824 EN 1338, 2005).

Kilitli parke bloğunda buz çözücü tuz etkisiyle birlikte donma/çözölmeye karşı direncin tayini deneyinde, numune ön şartlandırmaya tâbi tutulduktan sonra 28 gün süreyle, yüzeyi % 3'lük NaCl çözeltisi ile kaplanmış şekilde, donma-çözölme çevrimlerine maruz bırakılır. Donma çözölme etkisiyle pullanma sonucu numuneden ayrılan parçalar toplanarak tartılır ve sonuç, numunenin metrekaresi başına kilogram cinsinden gösterilir. Numunenin birim alanı başına kütle kaybı (L), aşağıda verilen eşitlik (2) kullanılarak kg/m² biriminde hesaplanmıştır (TS 2824 EN 1338, 2005).

$$L = M / A \quad (2)$$

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1 Kilitli Beton Parke Bloklarında Yarmada Çekme Dayanımı

Bazalt, andezit ve mermer numunelerinden oluşturulan reçetelere göre yapılan kilitli parke bloklarının yarmada çekme dayanımları deney sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Verilen değerler incelendiğinde,

kür süreleri arttıkça dayanımların her üç numunede de arttığını göstermektedir. Bazalt ve mermer agregalarından yapılan parke blokları 7 gün kür süresi sonrası gerekli dayanım sınırını aşmış fakat andezitten yapılan parke bloğu, 28 gün kür süresi sonunda bu dayanımı aşabilmiştir. Bunda andezitin gözenekli yapısı nedeniyle yüksek su emme oranına sahip olması ve aynı zamanda düşük yoğunluğa sahip olmasının etkisi büyüktür.

Üretilen kilitli parke bloklarının 3, 7 ve 28 günlük kür süresi sonunda yarmada çekme dayanımı grafikleri Şekil 3'de verilmiştir.

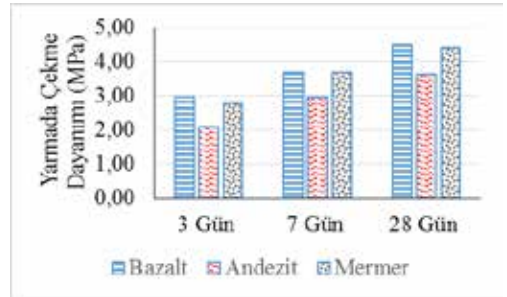
Çizelge 3. Bazalt, andezit ve mermer numunelerinden üretilen kilitli parke bloklarının 3 günlük, 7 günlük ve 28 günlük kür süresi sonunda yarmada çekme dayanımı verileri

Numune	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)		
	3 Günlük	7 Günlük	28 Günlük
Bazalt	2.96	3.75	4.56
	2.74	3.88	4.81
	3.09	3.92	4.26
	3.01	3.51	4.01
	3.05	3.84	4.55
	2.89	3.11	4.19
	2.74	3.71	4.67
	3.11	3.73	4.82
	Andezit	2.00	3.01
2.12		2.84	3.81
2.06		2.71	3.41
2.11		3.12	3.59
1.98		2.97	3.12
2.08		3.11	3.86
2.20		2.87	3.61
2.05		3.06	3.91
Mermer		2.55	3.77
	2.79	3.64	4.71
	2.91	3.79	4.10
	2.74	3.91	4.31
	2.65	3.66	4.05
	2.98	3.25	4.55
	2.77	3.71	4.22
	2.66	3.69	4.81

Parke bloklarının 3 günlük kür süresi sonrası dayanım sonuçlarına göre, dayanım değeri ortalama olarak 2.95 MPa ile en yüksek olan bazalt numunesidir. Bu değerlere göre andezit numunesi ortalama 2.08 MPa ile %30 oranında daha düşük dayanıma sahiptir. Mermerin dayanımı ise ortalama 2.76 MPa ile bazalta göre %7 daha düşüktür.

Parke bloklarının 7 günlük kür süresi sonunda dayanım değeri ortalama olarak 3.68 MPa ile en yüksek olan bazalt numunesidir. Bu değere göre andezit numunesi 2.96 MPa ortalama ile %20 oranında bazalta göre daha düşük dayanıma sahiptir. Mermer, ortalaması 3.68 MPa ile bazalt ile aynı dayanıma sahiptir. 7 gün kür süresi sonunda dayanım sonuçlarında, mermer ve bazalt agregalı parke blokları TSE'nin öngördüğü sınır değeri (3.6 MPa) geçmiştir.

28 gün kür süresi sonunda yapılan yüklemelerde dayanım değeri ortalama olarak 4.48 MPa ile en yüksek olan bazalt numunesidir. Bu değere göre andezit numunesi ortalama olarak 3.62 MPa ile %19 oranında daha düşük dayanıma sahiptir. Mermer ise ortalama olarak 4.40 MPa değeri ile %2 daha düşük dayanıma sahiptir. Bu sonuçlara göre her üç numune de 28 gün kür süresi sonunda TSE 2824 EN 1338 standardında belirtilen 3.6 MPa alt limitinin üzerinde bulunmaktadır.



Şekil 3. Kilitli parke bloklarının 3, 7 ve 28 günlük kür süresi sonrası yarmada çekme dayanımları.

3.2 Kilitli Parke Bloğunda Aşınmaya Direncin Ölçülmesi

Kilitli parke bloklarında aşınmaya direncin belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerdeki sonuçlar Çizelge 4’de verilmiştir. Kilitli parke bloğunda aşınma direncinin ölçülmesi deneyinde malzemedeki kayıp miktarının 23 mm’den fazla olmaması istenmektedir. Görüldüğü gibi, ortalama değerler referans değer olan 23 mm’nin altında yer almaktadır (Şekil 4). Bu değer üstündeki değerler ölçülmez ve parke bloğu üretilemez. En yüksek aşınma direncine dayanıklılık deneyinde, en az aşınma değeri 18.6 mm ile bazalt agregalı numunelerde iken en fazla aşınma değeri 22.13 mm ile andezitte bulunmaktadır. Andezit, 23 mm üst sınırına en yakın numune özelliğine sahiptir.

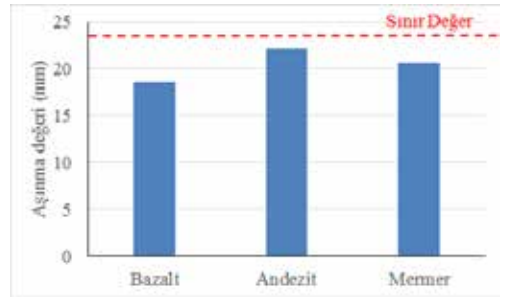
Çizelge 4 Kilitli parke bloğunda aşınmaya direnc değerleri

Numune	Aşınma Değeri (mm)	Ortalama Değer (mm)
Bazalt	17.8	18.6
	19.9	
	18.1	
Andezit	22.7	22.13
	21.7	
	22.0	
	21.0	
Mermer	20.5	20.6
	20.3	

3.3 Kilitli Parke Bloğunda Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Birlikte Donma/Çözölmeye Karşı Direncin Tayini

Çözücü tuz etkisiyle birlikte donma/çözölmeye karşı direncin tayini için yapılan deney sonuçlarında, bulunan değerlerin 1.5 kg/ m² den büyük olmaması istenmektedir. Yapılan deney sonucunda bulunan değerler Çizelge 5’de verilmiştir.

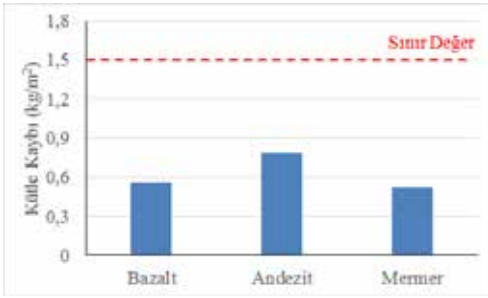
Elde edilen verilere göre, üç numune de TSE standartlarına ait sınır değer altında yer almaktadır (Şekil 5). Buz çözücü tuz etkisiyle birlikte donma/çözölmeye karşı direncin tayini değerlerine göre en fazla kütle kaybı 0.79 kg/m² ile andezit numunelerinde ölçülmüştür. Sonuç olarak bazalt, andezit ve mermer agregalarından yapılan kilitli parke blokları buz çözücü tuz etkisiyle donma/çözölmeye etkisine karşı dayanıklı olduğu söylenebilir.



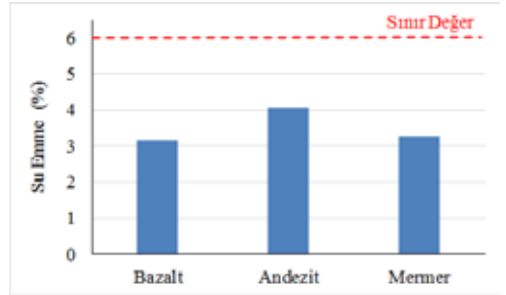
Şekil 4. Kilitli parke bloğunda aşınma direnci değerlerinin TSE standartları ile karşılaştırılması

Çizelge 5. Buz çözücü tuz etkisiyle birlikte donma/çözölmeye karşı direncin tayini değerleri

Numune	Kütle Kaybı (kg/ m ²)	Ortalama Kütle Kaybı (kg/ m ²)
Bazalt	0.49	0.56
	0.61	
	0.57	
Andezit	0.78	0.79
	0.71	
	0.88	
	0.55	
Mermer	0.58	0.52
	0.45	



Şekil 5. Donma/çözünmeye karşı dayanım sonuçlarının TSE standartları ile karşılaştırılması



Şekil 6. Kilitli parke bloklarında su emme değerlerinin TSE standartları ile karşılaştırılması

3.4 Kilitli Parke Bloğunda Su Emme Deneyi

Kilitli parke bloklarında su emme değeri TSE standartlarına göre %6'yı geçmemelidir. Yapılan kilitli parke bloklarına her numune için üç adet su emme deneyi yapılmıştır. Bu değerlerin sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir. Her üç numunenin verileri de TSE standardında istenilen su emme limit değerinin altındadır (Şekil 6). Numuneler arasında andezitten yapılan parke bloğu %4.07 ile en yüksek su emme değerine sahiptir. Bunun sebebi andezitin diğer agregalara göre daha gözenekli bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. %3.17 su emme değeri ile bazalt numuneleri en az su emme değerine sahiptir.

Çizelge 6. Kilitli parke bloklarında su emme değerleri

Numune	Su Emme (%)	Ortalama Su Emme (%)
Bazalt	3.36	3.17
	3.14	
	3.03	
Andezit	4.11	4.07
	3.87	
	4.23	
Mermer	3.15	3.26
	3.24	
	3.38	

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada bazalt, andezit ve mermer numuneleri, 0-4 mm ve 4-12 mm fraksiyonlarına sınıflandırılmış ve beton karışımı içerisinde agrega olarak kullanılmıştır. Çimento olarak 42,5 portland çimentosu kullanılmıştır. Çalışmada, TS 2824 EN 1338'e (2005) standartlarına uygun olarak kilitli beton parke blokları üretimi yapılmıştır. Bunlara, standartlara uygun mekanik test ve deneyler yapılarak en uygun agrega cinsi belirlenmeye çalışılmıştır.

Kilitli parke bloklarının 3, 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı sonuçları bazalt için sırasıyla 2.95, 3.68 ve 4.48 MPa, andezit için 2.08, 2.96, 3.62 MPa ve mermer agregaları için 2.76, 3.68, 4.40 MPa olarak bulunmuştur. 7 günlük basınç dayanımı sonuçlarına göre bazalt agregası ve mermer agregası standartlarda verilen değer (3,6 MPa) üzerine çıkmışlar, fakat andezit agregasından yapılan kilitli beton parke bloklarının dayanım sonuçları bu değer altında kalmıştır. Yapılan 28 günlük basınç dayanımı sonuçlarında ise her üç numune de sınır değer üzerinde yer alarak tüm agregaların kilitli beton parke üretimine uygun olduğu belirlenmiştir.

En yüksek aşınma direncine dayanıklılık deneyinde, en az aşınma değeri 18.6 mm ile bazalt agregalı numunelerde iken en fazla

aşınma değeri 22.13 mm ile andezitte bulunmaktadır.

Çözücü tuz etkisiyle birlikte donma/çözölmeye karşı direncin tayini deney sonuçlarının, TSE standartlarına ait sınır değeri olan 1.5 kg/ m² den büyük olması istenmez. En fazla kütle kaybı 0.79 kg/m² ile andezit numunelerinde olmasına rağmen her üç numune de standartlarda öngörölen değeri altındadır.

Kilitli parke bloklarının su emme değeri bazalt, andezit ve mermer numuneleri için sırasıyla %3.17, 4.07 ve 3.26 olarak bulunmuştur. Kilitli parke bloklarında su emme değeri açısından da TS standartları ile uyumludur.

Yapılan deneyler sonucunda mermer ve bazalt köken olarak farklı olsalar da dayanım sonuçları birbirine çok yakındır. Fakat andezit geç dayanım almakta ve aynı zamanda yüksek değere ulaşmamaktadır. Geç dayanım alması zaman bakımından dezavantaj olduğu ve dayanım sonuçları daha düşük olduğu için üretimde kullanılması uygun sonuçlar vermeyecektir. Bazalt agregaları, dayanım bakımından yüksek dayanımlar vermektedir. Fakat agregası özelliği bakımında yüksek sertliğe sahip olması ve rezerv bakımından her bölge de olmaması nedeniyle kullanım şansı düşüktür. Mermer ise bazalta göre daha az sertliğe sahip olup kırma ve eleme maliyeti

daha düşüktür. Rezerv bakımından da bir çok bölgede bulunmaktadır. Yapılan deneylere göre de TSE kriterlerine uygun sonuç veren mermerler kalite ve maliyet bakımından üretimi en uygun hammadde olarak önerilmektedir.

Mermer ocaklarında blok elde edilemeyen kısımların kırılarak bu ve benzeri ürünler elde edilmesiyle, hem çevresel sorunlar azaltılacak hem de ekonomiye katkı sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M. 1999. *Her Yönüyle Beton*, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul, 128 s.
- TS 707, Türk Standartları, 1980. *Beton Agregalarında Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 2824 EN 1338, 2005. *Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları Gerekli Şartlar ve Deney Metotları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Şahbaz, A. 2010. Değişik doğaltaş agregaların, beton bloklarının ve kilitli parke bloğunun fiziko- mekanik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 156 s.
- Yılmaz, A.O. ve Arıoğlu, E., 2006. Taşocağında Üretim Maliyetlerinin Matematiksel Modelinin Oluşturulması ve Örnek Uygulama, *IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, Ed: A.E. Yüce, C. Kuzu, A. Güney ve M. Erdoğan, İstanbul, 265-276.

Yapı Malzemesi Olarak Kullanılan Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi

Effect of High Temperature Conditions on Mechanical and Physical Properties of Rocks Used as Building Materials

E. Özdemir & D. Eren Sarıcı

İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya

* Corresponding Author: ozdemir.engin@inonu.edu.tr

ÖZET İnşaat malzemesi olarak yaygın bir biçimde kullanılan doğal taşlar çeşitli çevresel etkilere maruz kalmaktadır. Kötü çevre koşullarının (yangın, yüksek sıcaklık, asit yağmurları, tuz kristalleşmesi, donma çözülme vb.) inşaat malzemesi olarak kullanılan mermerlerin bozulmasına sebep olduğu bilinmektedir. En uygun kullanım alanını saptamak için kullanılacak bu malzemelerin fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada, yüksek sıcaklık değerlerinin kayaçların fiziko-mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, inşaat malzemesi olarak kullanılan 5 farklı mermer (Karaman Bej, Elazığ Petrol Yeşili, Diyarbakır Siyah İnci, Elazığ Vişne ve Adana Konglomera) üzerinde 100, 200, 400, 600 ve 800 °C sıcaklıklarda ağırlıkça-hacimce su emme, yoğunluk, Schmidt sertliği, nokta yükleme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda sıcaklık derecesi artıkça tüm mermerlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapı malzemesi, Mermer, Sıcaklık, Fiziko-mekanik Özellikler

ABSTRACT Natural building stones are widely used as construction materials, and exposed to various environmental conditions. It is known that aggressive environment conditions (fire, high temperature, acid rain, salt crystallization, and freeze-thaw cycles, etc.) caused to degradation of marble. It is very important to determine the physico-mechanical properties of natural building stones for selection the correct utilization areas. In this research, the effects of high temperature conditions on physical-mechanical properties of rock samples were investigated. For this purpose, five different types of marbles (Karaman Beige, Elazığ Petrol Green, Diyarbakır Black Pearl, Elazığ Rosso Levanto, Adana Conglomerate) were used. Water absorption by weight and by volume, density, Schmidt hardness and point load strength tests were carried out at 100, 200, 400, 600 and 800 °C. Experimental results showed that progression of temperatures has led to decrease of physico-mechanical properties all of the marbles.

Keywords: Building Materials, Marble, Temperature, Physico-mechanical properties

1 GİRİŞ

Doğal taş grubunda yer alan mermerler, ağırlıklı olarak kalsit ve / veya dolomitten

oluşan metamorfik kayaç grubuna dahildir. Ülkemiz, mermer yatakları bakımından oldukça önemli bir konuma sahip olduğundan mermer sektöründeki çalışmalar,

ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Doğal taşlar ve birçok inşaat malzemeleri (beton, tuğla vb.) mikro/makro çatlak, boşluk, gözeneklilik gibi zayıflıklar içermektedir. İnşaat malzemesi olarak yaygın biçimde kullanılan mermerler, çeşitli fiziksel, mekanik, kimyasal ve çevresel etkileşimlere maruz kalırlar. Bu etkiler mermerlerde zayıflamalara bozulmalara neden olmaktadır. Bu sebeple mermerlerde daha uzun kullanım ömrü sağlamak adına fiziksel, mekanik ve mineralojik özelliklerine göre uygun kullanım alanlarını belirlemek oldukça önem arz etmektedir. Mermerlerin bu özellikleri göz önünde bulundurularak özellikle dış etmenlere karşı (tuz kristalleşmesi, asit yağmuru, donma-çözünme olayı, yüksek sıcaklık vb.) en az zarar alacak görecekte şekilde kullanım alanı belirlenmelidir. Borelli, 1999; Cultrone, 2004; Uğur vd, 2014; Sarişik vd. 2014). Doğal taşların yüksek sıcaklıklar altında fiziksel, mekanik ve mineralojik özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar, önem taşımaktadır.(Liang vd. 2006).

Dwivedi vd. (2008) granitin yüksek sıcaklık altında tek eksenli basınç dayanımını, dolaylı yoldan çekme dayanımını ve deformasyonun nasıl değiştiğini araştırmışlar, 25°C'den 200°C'ye gelinceye kadar kayacın mekanik özelliklerinde kayda değer bir değişiklik gözlemlenmediğini fakat 200°C'den sonra sıcaklıkla ters orantılı olarak değerlerin düştüğünü belirlemişlerdir. Yavuz vd. (2010), farklı tane boyutuna, yapısına ve gözenekliliğe sahip beş farklı karbonatlı kayaç numunesi üzerinde sıcaklık artışına bağlı olarak (100, 200, 300, 400 ve 500 °C) ultrasonik Vp dalga hızındaki değişimi araştırmışlar ve sıcaklık artışı ile Vp dalga hızında da artış olduğunu belirlemişlerdir. Chen vd. (2012) granitin yüksek sıcaklık altında dayanımının ve deformasyonun nasıl değiştiğini araştırmışlar, sıcaklık arttıkça kayaç dayanımının ve elastik modülünün düştüğünü belirtmişlerdir. Zhao vd. (2012) granit örnekleri üzerinde farklı sıcaklıklarda termal deformasyon ve Young modülü ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi araştırmışlar

sıcaklık artışına bağlı olarak Young modülünün düştüğünü saptamışlardır. Özgüven ve Özçelik (2013) mermer ve kireçtaşı numuneleri üzerinde oda sıcaklığından 1000 °C'ye kadar (Oda sıcaklığı, 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C) sıcaklık etkisi altında renk, cila, günlük fiziksel değişimi araştırmışlar ve sıcaklık artışına bağlı olarak gözeneklilik ve çatlaklılığın arttığını belirlemişlerdir. Brotóns vd. (2013), kalker numuneleri üzerinin 105'ten 600 °C'ye kadar değişen sıcaklık altında fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişimi belirlemek için, porozite, ultrasonik dalga hızı, tek eksenli sıkışma dayanımı, young modülü, poisson oranı ve suda dağılma testi yapmışlardır. Araştırmacılar yapmış oldukları çalışma sonucunda tek eksenli sıkışma dayanımı, elastisite modülü ve suda dağılmaya karşı dayanım değerlerinde düşme, porozite ve ultrasonik Vp dalga hızında ise artış olduğunu belirlemişlerdir. Şengün (2013) İkisi mermer, ikisi düşük ve ikisi yüksek gözenekliliğe sahip toplam 6 farklı kayaç üzerinde 105'ten 600 °C'ye kadar değişen sıcaklık altında fiziko-mekanik özelliklerindeki değişimleri araştırmıştır. Sıcaklık değerindeki artışa bağlı olarak tek eksenli sıkışma dayanımı, dolaylı yoldan çekme dayanımı ve sertlik değerlerinde azalma meydana geldiğini, görünür gözeneklilik (porozite) değerlerinde artış olduğunu gözlemiştir. Özgüven ve Özçelik (2014) mermer ve kireçtaşı numuneleri üzerinde oda sıcaklığından 1000 °C'ye kadar (Oda sıcaklığı, 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C) sıcaklık altında fiziko-mekanik özelliklerindeki değişimi araştırmışlardır. Sıcaklık artışı ile yoğunluk, kuru ağırlık, sertlik, tek eksenli sıkışma dayanımı değeri ve dolaylı yoldan çekme dayanımı değerlerinde azalma olduğunu, su emme ve porozite değerlerinde ise artma olduğunu belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, sedimanter kökenli beş farklı kayaç üzerinde farklı sıcaklık derecelerinde (Oda sıcaklığı, 200, 400, 600, 800) fiziko-mekanik testler gerçekleştirilmiş, meydana gelen değişimler araştırılmıştır.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada; sedimanter kökenli beş farklı kayaç örneği kullanılmıştır. Kullanılan kayaç örnekleri, mermer olarak üretilmekte ve Karaman Bej, Elazığ Petrol Yeşili, Diyarbakır Siyah İnci, Elazığ Vişne ve Adana Konglomera ticari isimleri ile satışa sunulmaktadır. Bu mermerlerin seçiminde farklı yapı, formasyon ve gözenekliliğe sahip olmalarına dikkat edilmiştir. Çizelge 1'de deneylerde kullanılan mermerlerin kökenleri, ticari isimleri ve kodlamaları verilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan mermerlerin kodları, ticari isimleri ve kayaç türleri

Kodu	Ticari Adı	Türü
KB	Karaman Bej	Sedimanter
EPY	Elazığ Petrol Yeşili	Sedimanter
DSİ	Diyarbakır Siyah İnci	Sedimanter
EV	Elazığ Vişne	Sedimanter
AK	Adana Konglomera	Sedimanter

Mermer numunelerin fiziksel özellikleri TS 699 standardında tanımlanan yöntemlerle belirlenmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde 5 farklı sıcaklık değerinde (25°C, 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C) nokta yüklemeye dayanımı testi (I_{s50}) yapılmıştır. Mermer numuneleri, her bir sıcaklık değeri için fırında en az 3 saat süre ile kondisyonlanmış, kondisyonlanan numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra teste tabi tutulmuştur. Nokta yüklemeye dayanımı testi (I_{s50}) ise ISRM (1985)'de tanımlanan yöntemle prizmatik numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde U-TEST marka nokta yüklemeye deney cihazı, N tipi Schmidt çekici, Nüve marka fırın kullanılmıştır.

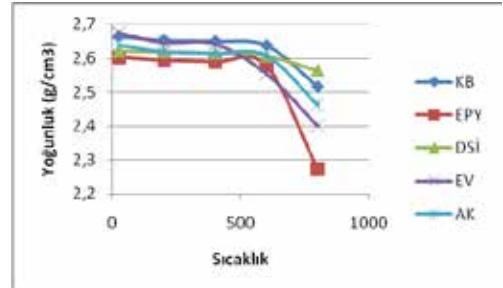
3 ARAŞTIRMA BULGULARI

Kullanılan mermerlerin oda sıcaklığındaki fiziko-mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla numuneler 105 °C'lik etüvde 24 saat bekletilmiş, desikatörde soğutularak bünyesindeki nemi kaybetmesi sağlanmıştır. Fiziko-mekanik özelliklerden, yoğunluk, porozite, su emme ve sertlik, mekanik özelliklerden nokta yüklemeye dayanımı belirlenmiştir. Belirlenen yoğunluk,

ağırlıkça su emme, hacimce su emme, Schmidt sertliği, nokta yüklemeye dayanımı değerleri Çizelge 1-5 'de bu değerlerin sıcaklığa bağlı olarak değişimlerinin grafiksel olarak gösterimi Şekil 1-5'de verilmiştir.

Çizelge 1. Yoğunluk değerleri (gr/cm³)

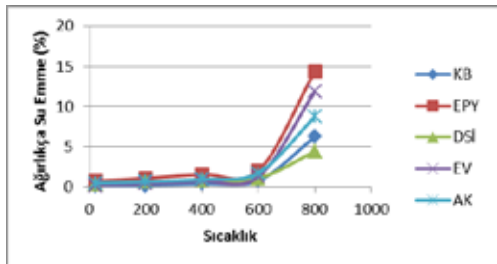
Derece	KB	EPY	DSİ	EV	AK
23	2,665	2,603	2,621	2,675	2,639
200	2,653	2,594	2,619	2,646	2,62
400	2,65	2,589	2,615	2,642	2,615
600	2,638	2,578	2,607	2,554	2,608
800	2,516	2,272	2,564	2,399	2,462



Şekil 1. Yoğunluk-sıcaklık ilişkisi

Çizelge 2. Ağırlıkça su emme değerleri (%)

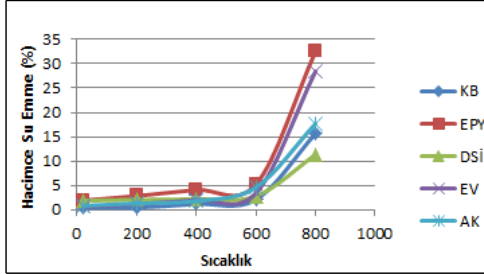
Derece	KB	EPY	DSİ	EV	AK
23	0,184	0,762	0,426	0,213	0,517
200	0,197	1,110	0,672	0,461	0,690
400	0,452	1,591	0,795	0,763	0,971
600	0,802	2,027	1,100	1,308	1,769
800	6,233	14,34	4,418	11,858	8,731



Şekil 2. Ağırlıkça su emme-sıcaklık ilişkisi

Çizelge 3. Hacimce su emme değerleri (%)

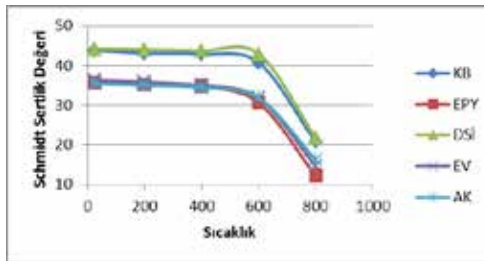
Derece	KB	EPY	DSİ	EV	AK
23	0,463	1,978	1,906	0,656	0,844
200	0,490	2,874	2,085	1,219	1,348
400	1,200	4,116	2,22	2,039	1,822
600	2,118	5,226	2,837	3,473	4,627
800	15,675	32,54	11,332	28,433	17,703



Şekil 3. Hacimce su emme-sıcaklık ilişkisi

Çizelge 4. Schmidt sertlik değerleri

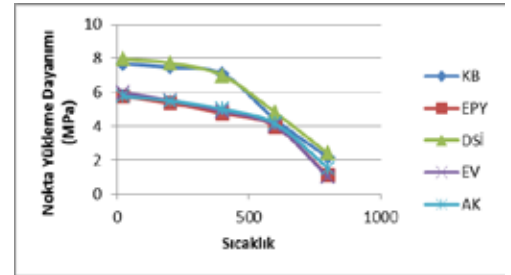
Derece	KB	EPY	DSİ	EV	AK
23	44	36	44	36	35
200	43	35	44	36	35
400	43	35	44	35	34
600	41	31	43	32	32
800	21	12	22	15	16



Şekil 4. Schmidt sertlik-sıcaklık ilişkisi

Çizelge 5. Nokta yükleme dayanımı değerleri (MPa)

Derece	KB	EPY	DSİ	EV	AK
23	7,7	5,7	8,0	6,0	5,8
200	7,5	5,3	7,7	5,5	5,5
400	7,1	4,8	7,0	4,9	5,0
600	4,4	4,0	4,8	4,0	4,1
800	2,1	1,1	2,4	1,0	1,5



Şekil 5. Nokta yükleme dayanımı-sıcaklık ilişkisi

Çizelge 1-5 ve Şekil 1-5 incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak yoğunluk, Schmidt sertliği, nokta yükleme dayanımının azaldığı, ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinin arttığı görülmektedir. Özellikle 500 °C civarında kayaçların tümünde fiziksel ve mekanik özelliklerde ani değişimlerin gerçekleştiği görülmektedir.

4. SONUÇ

Doğal taşlar kullanım süreleri boyunca çeşitli çevresel etkilere (yangın, yüksek sıcaklık, asit yağmurları, tuz kristalleşmesi, donma çözülme vb.) maruz kalmaktadır. En uygun kullanım alanını belirlemek için kullanılacak malzemelerin fiziko-mekanik özelliklerini bilmek oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada, beş farklı lokasyonlardan elde edilen mermerler üzerindeki yüksek sıcaklığın etkisi deneysel çalışma ile belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bulgular şu şekildedir.

1. Yaklaşık 200 °C'ye kadar tüm mermerlerin fiziko-mekanik özellikleri oda sıcaklığındaki değerlere çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

2. 800 °C'de tüm numunelerin nokta yükleme dayanımında oldukça yüksek kayıp gözlemlenmiştir.

3. Ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinde tüm numunelerde gözeneklilik

artışından kaynaklı olarak artma söz meydana gelmiştir.

4. Sıcaklık değerleri arttıkça yoğunluk, schmidt sertlik değeri ve nokta yükleme dayanım değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.

5. Diyarbakır siyah inci (DSİ) ve Karaman Bej (KB) mermerleri diğer üç mermere göre daha dayanıklı sonuçlar elde edilmiştir.

Katkı Belirtme

Yazarlar; deneysel çalışmalarda kullanılmak amacıyla numune sağlayan Alacakaya Mermer A.Ş'ye teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

- Borelli, E., 1999. Conservation of architectural heritage, historic structures and materials, *Porosity Iccrom Arc Laboratory Handbook* 2 1–32.
- Brotóns, V., Tomás, R., Ivorra, S., Alarcón, J.C., 2013. Temperature influence on the physical and mechanical properties of a porous rock: San Julian's calcarenite. *Engineering Geology*, 167,117–127.
- Chen, Y.L., Ni, J., Shao, W., Azzamb, R., 2012. Experimental study on the influence of temperature on the mechanical properties of granite under uni-axial compression and fatigue loading, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 56, 62–66.
- Cultrone, G., Sebastian, E., Elert, K., Torre, M.J., Cazalla, O., Navarro, C.R., 2004. Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks, *Journal of the European Ceramic Society*, 24 547–564.
- Dwivedi, R.D., Goel, R.K., Prasad, V.V.R., Sinha, A., 2008. Thermo-mechanical properties of Indian and other granites, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45, 303–315
- ISRM 1985, Suggested method for determining point load strength, *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, (22) 51-60.
- Liang, W.G., Xu, S.G., Zhao, Y.S., 2006. Experimental study of temperature effects on physical and mechanical characteristics of salt rock, *Rock Mechanic Rock Engineering*, 39(1-2), 469-482
- Özgüven, A., Özçelik, Y., 2013. Investigation of some property changes of natural building stones exposed to fire and high heat. *Construction and Building Materials*, 38, 813-821.
- Özgüven, A., Özçelik, Y., 2014. Effects of high temperature on physico-mechanical properties of Turkish natural building stones, *Engineering Geology*, 183, 127–136
- Sariisik A., Sariisik, G. Senturk, A. 2010. Characterization of physical and mechanical properties of natural stones affected by ground water under different ambient conditions, *Ekoloji* 19 (77) 88-96.
- Sengun, N., 2013. Influence of thermal damage on the physical and mechanical properties of carbonate rocks, *Arab. J. Geosci.* <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-013-1177-x>.
- TS 699, 1987. Tabii yapı taşları-muayene ve deney metodları, *TSE*, Ankara, [In Turkish].
- Ugur, I., Sengun, N., Demirdag, S., Altindag, R., 2014. Analysis of the alterations in porosity features of some natural stones due to thermal effect, *Ultrasonics*, 54 1332–1336.
- Yavuz, H., Demirdag, S., Caran, S., 2010. Thermal effect on the physical properties of carbonate rocks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47 (1), 94-103.
- Zhao, Y.S., Wan, Z.J., Feng, Z.J., Yang, D., Zhang, Y., Que, F., 2012. Triaxial compression system for rock testing under high temperature and high pressure, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 52, 132–138.

Characterization of Limestone Aggregates for Iron-Steel Industry *Demir-Çelik Endüstrisi için Kireçtaşı Agrega Karakterizasyonu*

Ö. Kılıç

Cukurova University, Department of Mining Engineering, Adana

ÖZET Kireçtaşı kimya endüstrisinde %84, refrakter ve yol inşasında %12, inşaat, zirai kullanımlar ve demir çelik endüstrisinde dönüşüm ürünü kireç olarak %4'lük bir payla kullanılan bir endüstriyel hammaddedir. Kireç kaynağı olarak kireçtaşının belirli fiziksel, kimyasal, mekanik ve termal özelliklere sahip olması gerekir. Ayrıca, yüksek kalitede kireç üretimi için teknolojik işlemler de çok önemlidir. Bu araştırmada, kireçtaşı örneklerinin kimyasal bileşim, fiziksel özellikler (birim hacim ağırlık, görünür porozite, su emme oranı), mekanik özellikler (Schmidt dayanımı ve Los Angeles aşınma dayanımı) ve termogravimetrik özellikleri (TG-DTA) belirlenmiştir. Testler demir-çelik endüstrisine uygun yüksek kaliteli kireç üretimi için kullanılacak kireçtaşlarının karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

ABSTRACT Limestone is a basic industrial raw material. It is consumed by 84% in chemical industry, 12% in refractory and road construction and 4% in civil engineering, agricultural applications and iron steel industry substantial quantity as lime. Limestone as a source of lime should have some specific physical, chemical, mechanical and thermal properties. Furthermore, technological processes for high quality lime production are also very important. In this investigation, chemical composition, physical properties (bulk density, apparent porosity, water absorption rate), mechanical properties (Schmidt strength and Los Angeles Abrasive strength) and thermogravimetric properties (TG-DTA) of limestone samples were determined. The tests were carried out to determine the characteristic properties of limestone for high quality lime production suitable for iron-steel making industry.

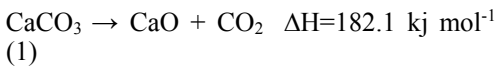
1 INTRODUCTION

In broadest definition, limestone is any rock rich in CaCO_3 . Limestone can be obtained from a variety of sources and various limestones differ considerably in their chemical compositions and physical structure. The chemical and physical properties of carbonate rocks are interdependent. Physical characteristics of limestone play an important role in evaluating a deposit. Certain physical characteristics in limestones may indicate a general disposition description during

calcination; however, not all stones with these characteristics will decrepitate. Limestones that display the following attributes or conditions, alone or in combination, are prone to decrepitation; coarse crystallinity, friability, foliation, excessive calcite veining, microfracturing, highly porous and thinly bedded. The chemical reactivity of different limestones shows a large variation due to their differences in crystalline structure and the nature of impurities such as silica, iron, magnesium, manganese, sodium, and

potassium. Magnesium and ferrous iron cations occurring in limestone may change the carbonate mineralogy of limestone as well as its physical characteristics such as color, brightness, specific gravity, hardness, tenacity and decomposition properties (Boynton 1980).

The main chemical property of limestone is its thermal decomposition, known as calcination, during which lime (CaO) and carbon dioxide are produced (Eq. 1) (Boynton 1980, Oates 1998). The calcination reaction is endothermic.



which means that the forward reaction is favored by higher temperatures. The reaction will proceed only if the partial pressure of CO₂ in the gas above the solid surface is less than the decomposition pressure of the CaCO₃.

In the evaluation of the kinetics of calcination is shown to complicate by CO₂ concentration, which inhibits the reaction; particle size, which may introduce both thermal and mass transfer limitations, and catalysis/inhibition by impurities. When calcination takes place (Eq. 1), the product calcium oxide weighs only 56% of the parent carbonate.

The reaction (Eq. 1) only begins when the temperature is above the dissociation temperature of the carbonates in the limestone. According to Boynton (1980), the CaCO₃ decomposition temperature determined by several researchers at the beginning of the 20th century is generally still accepted as 898°C at 1 atm in a 100% CO₂ environment. However, according to some studies, this temperature is 902.5°C (Borgwardt 1985). Kılıç (2005) is reported that the weight loss above 600°C, measured by DTA-TG in nitrogen atmosphere, is attributed to the CO₂ from the decomposition of calcium carbonate that is initiated at 682-691°C and completed at 944-961°C.

The internal structure of a rock having open and closed pores in its texture affects its heat transfer. The specimen comprises a dense carbonate core surrounded by porous

oxide layer. The changes in pore structure also play a significant role on the calcination/heat treatment mechanism and the reactivity of a calcined limestone is strongly dependent on its chemical, physical and structural properties, which in turn are highly dependent on heat treatment conditions (Rubiera et al. 1991, Khinast et al. 1996). In the good calcination process, limestone should be approximately consisting of 97% CaCO₃ and low impurities. Impurities such as iron, magnesium and aluminum oxides tend to lead to lower surface areas in both the limestones and their calcines (Boynton 1980).

Limestone is used mainly in the iron making part of steel production where it is added to the iron ore before entering the blast furnace. The limestone reacts with acidic impurities called slag and floats on top of the molten iron where it is skimmed off. As a flux, the limestone helps purify the iron ore, which is the raw material used for steel.

In the literature, there are several references concerning factors that may affect the quality of lime. Generally, these factors are characteristics of the limestone, calcination temperature, pressure acquired in kilns, rate of calcination and fuel quality (Ingraham and Marier 1963, Khinast et al. 1996). Thermal decomposition of limestone has been the subject of intensive studies over the years due to its importance in the flue gas desulfurization. Studies have not been reported to the best of our knowledge, about the specific effects of the various factors (raw materials, calcination, temperature) to the reactivity of the produced lime.

In this study, in order to effects of limestone characteristics to the lime production for iron-steel making industry, the investigation of the characteristic properties of the produced lime has to be performed properly.

2 MATERIALS AND METHODS

The limestones were taken from different large commercial deposits: Karaisali region

(L_k) and Yılkale region (L_y) in Adana, Turkey. During sampling, rock types having no bedding planes were selected to eliminate any anisotropic effects in the measurements of the samples. Limestones present macroscopically different characteristics. L_k is a 'dirty white' and light coloured grey limestone comprising discrete and tiny crystals. L_y is light-coloured 'dirty white' any distinguished crystals. Microcracks were not present throughout the mass of L_k limestones, but microcracks, dense vein system and schistosity were observed throughout the mass of L_y limestones.

Analyses were performed on limestone samples by using the following analytical procedure.

◆ XRF (Siemens SRS 300 X-ray Fluorescence Spectrometer) was used to determine the chemical compositions of limestone samples.

◆ Physical properties (the bulk density, effective porosity, water absorption rate) of the limestones were determined using saturation and buoyancy techniques, as recommended by ISRM and TSE (TS EN 1097-2 2010).

◆ The compressive strength of the limestones was determined by Schmidt hammer. Schmidt hammer tests were carried out on the test samples having an approximate dimension of $30 \times 30 \times 20$ cm³. The tests were performed with an N-type hammer having impact energy of 2.207 Nm. All tests were conducted with the hammer held vertically downwards and at right angles to the horizontal rock surface. In the tests, the ISRM (1981) method was applied for each rock type. ISRM suggested that 20 rebound values from single impacts

separated by at least a plunger diameter should be recorded and the upper 10 values averaged. The test was repeated at least three times on each sample and the average value was recorded as the Schmidt hammer value.

◆ In the heat treatment process, the test samples were cut into cubes (3 cm mean edges; 3.04 ± 0.11) were placed into temperature controlled laboratory furnace (Electromag, tmax: $1260^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) at the different temperature (850, 900, 950, 1000 and 1050°C). For each sample, each temperature level was operated during 150 min. All specimens were weighted before and after their ignition, and difference expressed as a percentage (wt%) is the ignition loss for every heat treatment condition.

◆ Differential thermal and thermogravimetric analyses (simultaneous TG/DTA, Setaram 92 16 DTA-TG) were carried out to determine quantitatively and qualitatively the various compounds presented in samples. Analyses were performed in samples of limestone nitrogen atmosphere at a temperature range of 25 - 1000°C and gradient of $10^\circ\text{C}/\text{min}$.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The chemical analyses result of limestone samples are presented in Table 1. It was found that L_k and L_y are very pure; with an average CaCO_3 higher than 97%; the impurities (MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 and SiO_2) are very low. Since the $\text{MgCO}_3/\text{CaCO}_3$ ratio varies with the type of limestone, the decomposition temperature does not remain constant and therefore must be determined for every type of limestone.

Table 1 Chemical compositions of limestone (%)

Sample	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Loss of Ignition
L_k	55.13±0.14	0.44±0.04	0.34±0.22	0.08±0.04	0.07±0.03	43.95±0.15
L_y	54.90±0.35	0.74±0.58	0.55±0.31	0.10±0.05	0.08±0.06	43.63±0.53

The calcium oxide content of limestones (55.13% and 54.90%; L_k and L_y , respectively) falls within the range of 50% to 65% required for limestone for burnt lime

production. Calcium oxide is one of the two oxides that play the most important role in the removal of oxide impurities during iron and steel-making. Calcium oxide, for

example, will react with silica to produce calcium silicate that has a much lower melting point than the two oxides (Boynton 1980).

The MgO content of limestones (0.44% and 0.74%; L_k and L_y , respectively) falls within the range of 2.30% to 5.50% standard specified for limestone for direct lime production (Boynton 1980). MgO forms the low melting point magnesium silicate with silica during iron-making.

The iron oxide content of limestones (0.08% and 0.10%; L_k and L_y , respectively) also falls within the range of 0.2% to 0.5% specified for a high grade limestone for lime making (Boynton 1980). The content of iron oxide also helps in enriching the iron ore sample in a blast furnace.

The alumina content of limestones (0.07% and 0.08%; L_k and L_y , respectively) falls in the range of 1.0% to 2.8% for alumina content of limestone suitable for direct production of lime. Since alumina is a highly refractory oxide, its low content in examined limestones strongly indicate the limestones as a high grade limestone. Alumina acts as a base or as an acid depending on the conditions imposed. For example, in highly siliceous slags, it may form alumina silicates, while in the presence of a strong base like lime it may form calcium aluminate.

The silica content of limestones (0.34% and 0.55%; L_k and L_y , respectively) falls within the range of 0.80% to 2.50% standard specified for high grade limestone. Silica is not very harmful in iron-making, being the source of the important Si. However, high quantity of silica will lead to the formation of large volume of calcium silicate slag with the associated high energy requirements for fluxing. The low content of silica in L_k and L_y further shows it as being suitable for direct lime production since acid impurities will reduce the potency of a basic slag. These results showed that the examined limestones as received is a high grade limestone that meets the specification for direct use for production of burnt lime for iron and steel-making (Boynton 1980).

The percentage loss on ignition of limestones (43.95% and 43.63%; L_k and L_y , respectively) falls within the range of 30% to 45% specified for high grade limestone. The LOI may be due to the presence of water and some adsorbed gaseous impurities in the limestone which escape on ignition. Lime for steelmaking generally require a low value LOI of 2% to 4% (or less), some plants actually require on LOI no higher than 0.5%.

The results of physical properties of limestones are presented in Table 2. All limestone samples indicated low values in porosity and water absorption rate (lower than 1%). The value of apparent density ($>2.55 \text{ g/cm}^3$) was found to be characteristic for a limestone (Ingraham and Marier 1963). Comparing the limestones, L_k demonstrated higher values in porosity. The other physical properties (e.g., porosity) determined will only be critical in the assessment of mineral oxides for refractory applications.

Table 2 Physical properties of the limestones

Sample	Bulk density (g/cm^3)	Water absorption rate (weight) (%)	Porosity (%)
L_k	2.65±0.08	0.72±0.22	0.85±0.04
L_y	2.72±0.12	0.39±0.09	0.70±0.16

The physical properties depend not only on the properties of the individual minerals, but also upon the way in which the minerals are assembled and porosity, vein system and micro-cracks. Information on the porous nature of rock materials is frequently omitted from physical descriptions, but is required if these descriptions are to be used as a guide to mechanical performance (Smorodinov et al. 1970). Bulk density is relevant chemical composition of the limestone. Bulk density increases with increase in % MgCO_3 content.

The Schmidt hammer rebound hardness test is a simple and non-destructive test originally developed in 1948 for a quick measurement of UCS (Schmidt 1951), and later was extended to estimate the hardness and strength of rock (Cargil 1990). As a simple tool for quick UCS assessment, Schmidt hammer has been used worldwide.

They have found that Schmidt hardness and the UCS are closely related.

The compressive strength of the limestones was determined by Schmidt hammer. It was found that compressive strength is 77 ± 9.1 MPa and 63.4 ± 10.4 MPa for L_k and L_y , respectively.

The mechanical properties depend not only on the properties of the individual minerals, but also upon the way in which the minerals are assembled. Carbonate rocks in particular occur with a wide range of porosities and hence of mechanical character. Compressive strength decreases with increase in porosity (Smorodinov et al. 1970).

The differential thermal analysis technique has been used for quantitative determination of heats of decomposition of carbonate materials. It is observed that the carbonates; i.e. limestone, dolomite, have lower heats of decomposition and higher energies of activation in a carbon dioxide atmosphere compared to values obtained in air.

Calcination reaction only begins when the temperature is above the dissociation temperature of the carbonates in the limestone. Once the reaction starts the temperature must be maintained above the dissociation temperature, and carbon dioxide evolved in the reaction must be removed. Dissociation of the calcium carbonate proceeds gradually from the outer surface of

the particle inward, and a porous layer of calcium oxide, the desired product, remains.

The thermal analysis was performed in a simultaneous TG-DTA. On the limestones, L_k and L_y , continuous heating from room temperature to 1000°C at a heating rate of $10^\circ\text{C}/\text{min}$, TG and DTA curves (Figs. 1-2) were obtained, is attributed to the CO_2 from the decomposition of calcium carbonate.

The figures showed that the weight loss is initiated at 625 and 675°C and defined (Eq. 1) fully decomposed approximately at 925 and 935°C for L_y and L_k , respectively. Comparing the percentage values of CO_2 measured by DTA/TG, it is evident that the values are very high and similar to each other. Thus, the limestones could be characterized as high calcium ones. Furthermore, it is observed that the percentage of CO_2 for limestones is higher than the theoretical one.

The heat treatment experiments of 3 cm mean edge cubic specimens of L_k and L_y at the laboratory furnace have shown that decomposition reaction begins at above 600°C , corresponding to the loss in carbon dioxide on limestone and was completed at about 1000°C (Fig. 3). The weight losses of the samples were associated CO_2 producing in limestone. The specimen comprises a dense carbonate core surrounded by porous oxide layer.

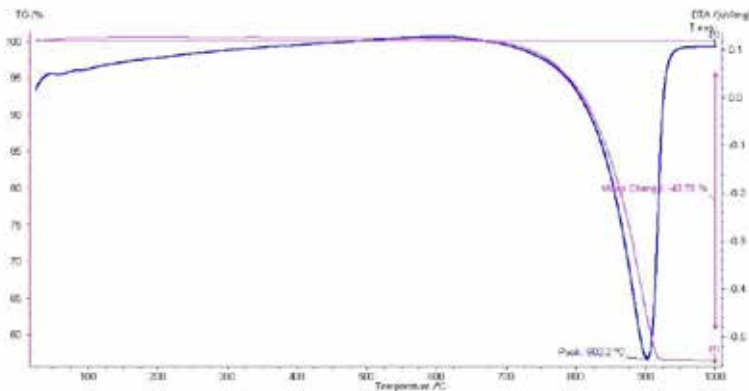


Fig. 1 A thermogram of TG-DTA curve for L_k decomposition

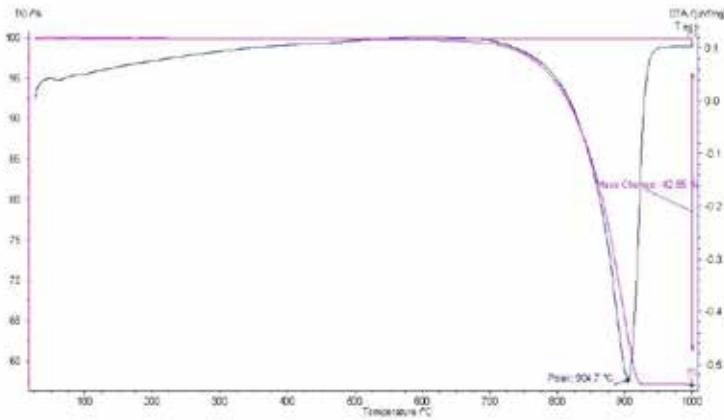


Fig. 2 A thermogram of TG-DTA curve for Ly decomposition

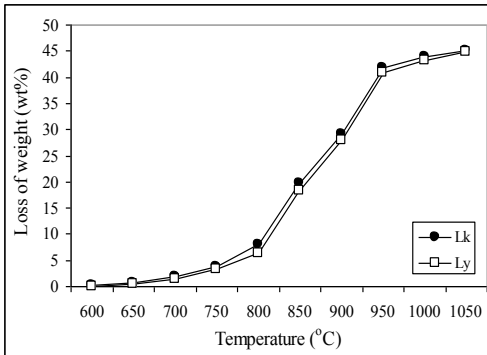


Fig. 3 Loss of ignition of 3 cm cubic specimens of L_k and L_y at different temperatures

During the decomposition/corresponding to the loss in carbon dioxide, micro-cracks and porosity are occurred on limestone. At higher than 1000°C, recombination started, which in turn led to an increase in sample weight. Namely, Eq. 1 initiates to return from right to left (Kılıç 2005).

Results of calcination test of cubic samples, which were carried out under identical experimental conditions and by using limestones of different regions showed that weight loss of limestones differed from each other depending on their CaCO₃

content, size of crystals and compact structure. Since MgCO₃ content of limestones was in negligible amount with respect to their CaCO₃ content, weight loss of samples considered were wholly the result of decomposition of their CaCO₃ content (Table 1). Besides, a little change of the mean edges relating the shrinkage phenomena were measured on the cubic samples (Table 3).

The samples underwent 1000°C had desired features, that is, they were soft burned, highly reactive, had low shrinkage and density and high porosity. Available CaO content of the lime (CaO) was performed in TS 32 (1999) (BS 6463). The results of the lime (L_k and L_c) analyses are shown in Table 4.

Table 3 Change of the dimension of the 3 cm cubic samples at different calcination temperatures (-: Decrease)

Sample	Calcination temperature (°C)	Cubic samples with mean edge (mm)
L _k	850	-
L _y	850	-
L _k	900	-0.1
L _y	900	-0.1
L _k	950	-1
L _y	950	-1
L _k	1000	-1
L _y	1000	-1
L _k	1050	-1
L _y	1050	-1

Table 4 Lime properties at different temperatures

Sample	Calcination temperature (°C)	Available CaO (%)	Loss of ignition (%)
L _k	900	81.26	17.52
L _y		80.05	15.30
L _k	1000	93.52	2.09
L _y		94.46	1.93
L _k	1050	91.80	1.79
L _y		91.61	1.58

High quality limestone with consistent chemical properties is often not available or is scarce. Varying contents of carbonates and impurities can result in the production of

overburnt or underburnt product with inconsistent values for residual CO₂ and loss on ignition. Unreacted core, along with absorbed water and carbon dioxide, will result in LOI when the lime is heated. Lime for steelmaking generally requires a low value LOI of 2% to 4% (or less); some plants actually require an LOI no higher than 0.5% (Boynton 1980).

High quality limestone suitable for high-quality lime defining a common in the iron and steel industries in Turkey and on the world;

- CaO minimum of 53%
- MgO 3% of the maximum,
- Compressive Strength Minimum 50 MPa values were determined (Table 5).

Table 5 Proper limestone properties for some iron steel plants

Chemical Analysis	Turkey iron steel making industries (Yüce et al. 2002)			World (Kogel et al. 2006)
	Erdemir	Kardemir	İsdemir	Blast Furnace
CaO	53	53	53.5	53.36
MgO	1	0.7		3.1
SiO ₂	2*	1.5**	1.5**	0.7
Fe ₂ O ₃				0.2
Al ₂ O ₃				0.3

*SiO₂+ Fe₂O₃+Al₂O₃, ** SiO₂+ Al₂O₃

4 CONCLUSIONS

This study investigated that the effect of limestone characteristics to lime quality for iron steel making industry. The limestones L_y and L_k, were subjected to chemical, physical and thermal analyses to determine their suitability for direct lime production. Chemical analysis showed that the L_y and L_k contains sufficiently high percentages of the main fluxing oxides i.e. calcium and magnesium oxides.

In this study, found that the unit weight of the limestone is larger than 2.55 g/cm³, low porosity (<%1) and the compressive strength is larger than 50 MPa. These findings show the fact that these limestones have compact texture and this type of stones are preferred

in the production of lime. Lime will have a good quality.

The temperature dependent it was observed that the reaction temperature has a direct effect on the rate of reaction and limestone chemical properties.

The reaction temperature has a direct effect on the conductivity of limestone depending on their impurities, porosity and micro-cracks, and hence on the rate of reaction. The reaction rate can be enhanced through improved heat transfer systems.

These findings show the fact that limestones (L_y and L_k) have compact texture, low porosity, high CaO and low impurity and good thermal conductivity, this type of stones are preferred in the production of

lime. Lime will have a good quality and high reaction.

Yüce AE, Gürkan V, Erdoğan V, Tarkan HM, Girgin Ş, Kangal MO, Oktay FY, 2002. A proposal of a new limestone description for iron & steel industry, Madencilik, (41)4, p. 21-36.

KAYNAKLAR

- Borgwardt RH, 1985. Calcination kinetics and surface area of dispersed limestone particles. *AIChE J.* (31)1, p 103–111.
- Boynton RS, 1980. Chemistry and technology of lime and limestone. 2nd Edition. John Wiley and Sons Inc., New York, 592 p.
- Cargill JS, Shakoar A, Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial strength of rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, (27) (1990) 495–503.
- Ingraham TR, Marier P, 1963. Kinetic studies on the thermal decomposition of calcium carbonate. *Can J. Chem. Eng.*, p. 170-173.
- ISRM, 1981. Rock characterization testing and monitoring ISRM suggested methods, suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks, Part 3, p. 101-3.
- Khinast JG, Krammer G, Brunner C, Staudinger G, 1996. Decomposition of limestone: The influence of CO₂, and particle size on the reaction rate. *Chem. Eng. Sci.* (5)14, p. 623-634.
- Kılıç Ö, 2005. Comparison of calcination parameters of classic (Eberhart) and parallel flow regenerative kiln (Maerz) and applications on Çukurova Region limestones, PhD Thesis, Department of Mining Engineering, Institute of Natural and Applied Sciences, University of Çukurova, Adana, 171 p.
- Kogel JE, Trivedi NC, Barker JM (ed), 2006. 7th Edition *Industrial Minerals and Rocks: Commodities, Markets, and Users.*
- Oates JAH, 1989. Lime and limestone chemistry and technology production and uses. Wiley-VCH Verlag GmbH, Germany, 169 p.
- Rubiera F, Faurtes BA, Pis JJ, Artos V, Marban, G, 1991. Changes in textural properties of limestone and dolomite during calcination. *Thermochim Acta* (179), p. 125-134.
- Schmidt E, 1951. A non-destructive concrete tester. *Concrete*, 59(8), p. 34–5.
- Smorodinov MI, Motovilov EA, Volkov VA, 1970. Determinations of correlation relationships between strength and some physical characteristics of rocks. *Proceedings of the Second Congress of the International Society of Rock Mechanics, Belgrade*, (2)3-6, p. 35-37.
- TS 32, 1999. Building Lime Chapter 2: Test Metots, TSE, Ankara.
- TS EN 1097-2, 2010. Tests for mechanical and physical properties of aggregates-Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation.

Evaluation of resistance to Los Angeles abrasion and physical factors with grindability properties of some aggregate materials

Bazı agrega malzemelerinin Los Angeles aşınma ve fiziksel etmenlere karşı dayanımı ile öğütme özelliklerinin belirlenmesi

C. Sensogut

Dumlupınar University, Mining Engineering Department, Kutahya

S. Duzyol I. Cinar

Selcuk University, Mining Engineering Department, Konya

ÖZET Agrega malzemelerinin kullanımı son yıllarda hem ülkemiz hem de dünyada artış göstermiştir. Bu artışın başlıca sebeplerinin nüfustaki artış olmakla birlikte, insanın daha kaliteli yaşama olan talebinin de etken olduğu söylenebilir. Bu nedenle bu çalışmada bazı agrega malzemelerinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Karaman ve Ankara'dan temin edilen bazalt ve andezit numunelerinin Los Angeles aşınma dayanımı ile donma çözünme, suda dağılma dayanımı ve dona dayanıklılık özellikleri araştırılmıştır. İkinci aşamada ise öğütme performansı kesikli öğütme deneyleri ile belirlenmiş ve her iki aşamada elde edilen sonuçlar ilişkilendirilmiştir.

Bazalt numunesinin Los Angeles dayanımı andezit numunesine göre daha yüksek olduğu belirlenirken, donma çözünme ve don kaybının andezit numunesinde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bazalt ve andezit numunelerin suda dağılma dayanımının (I_{d-2}) 'çok yüksek' sınıflamasına dâhil olduğu bulunmuştur. Aynı öğütme süresinde bir alt boyuta geçen malzeme yüzdesinin andezit numunesinde daha fazla ($\geq \%90$) olduğu ve kırılmaya karşı direncin en fazla -850+600 μm besleme boyutunda olduğu belirlenmiştir.

ABSTRACT In recent years, the usage of aggregate materials has increased in both Turkey and the entire world. It can be said that the main reason of this rise is the population growth together with the demand towards the more qualitative life. Therefore, the usability of some aggregate materials was investigated in the present paper. The properties of Los Angeles abrasion resistance, freezing-thaw resistance, slake durability strength and frost resistance of basalt and andesite samples obtained from Karaman and Ankara regions were studied at the first stage. In the second order, the grindability performance of these materials was also determined from the discontinuous grinding tests and the obtained results were correlated.

Whereas the Los Angeles resistance of the basalt sample was higher than the andesite sample, the mass losses after the freezing-thaw and the frost tests for the andesite sample were superior. Both of the basalt and andesite samples were classified as 'very high' for their slake durability strength (I_{d-2}) values. The material percentage of the andesite sample which is passing through the sub-size ($\geq \%90$) was greater than the value obtained for the basalt sample during the same grinding time. The resistance to the crushing process was obtained as to be maximum at -850+600 μm of feed size for the basalt and the andesite samples.

1 INTRODUCTION

The aggregates considered to be used as natural materials have a large share in many areas such as construction, concrete production, road and railway sectors. The aggregate materials should have been qualified in terms of their reserve and specifications. Additionally, it should not cause any environmental problems. Therefore, the planning and the engineering processes should be designed in a highly effective manner. Otherwise, quite serious social and environmental problems are likely to occur.

Aggregates are commonly regarded as cheap filling materials used in concrete production due to their lower cost comparatively to cement (Caglayan et al., 1999). Therefore, it is important to determine physical and mechanical properties of aggregates prior to usage. Besides, size reduction operations considered as basic mineral processing operations are quite expensive due to the more energy requirement. Various approaches are available to calculate the consumed energy for size reduction operations. Rittinger (1867), Kick (1885) and Bond (1952) laws are the most known approaches and related to work index of materials.

The relationship between the mechanical strength and the resistance to the grindability of rocks is probable. Through the determination of this relationship, the estimation of their work index and the breaking characteristics of materials are possible from their mechanical strengths. There are some research works in the literature revealed the relationship between the grinding parameters and the mechanical strength of the materials (Bearman, 1999; Ozkahraman, 2005; Ozer and Cabuk, 2007; Aras, 2009, Kahraman et al., 2015).

In this study, some mechanical and physical specifications such as density, slake durability resistance, abrasion, freezing-thaw resistance, frost losses with grindability properties of the basalt and the andesite samples were determined.

1.1 Determination of Mechanical Properties of Aggregates

1.1.1 Los Angeles (Abrasion) Test

Los Angeles (abrasion) test is a method which is applied to determine the fracture strength of coarse aggregates. (TS EN 1097-2).

A hollow steel cylinder device closed at the both ends and capable of rotating around its horizontal axis which is filled with a number of steel balls having a certain weight is used. In this experiment, totally 5000 g of sample consisting 3500 g of sample with the 10-12.5 mm of sieve width and 1500 g of sample with the 12.5-14 mm of sieve width is used. The sample prepared according to the experimental requirements is first washed and then dried in an oven at 110±5 °C until the weight does not change and the weight of sample (M_1) is recorded.

After 11 of stainless steel ball and aggregate sample are put into the device, the cap is closed tightly and the drum is rotated for 500 revolutions at a constant speed of 30 to 33 rpm during 15 minutes. Then the device is stopped and the aggregates are poured onto the tray carefully. The material is then screened with 1.6 mm sieve and the weight of material retained on the 1.6 mm sieve (M_2) is noted. The percentage of Los Angeles abrasion mass loss (LA) is determined by calculating the difference between the retained material (larger particles) compared to the original sample weight (Eq. 1). The LA abrasion value of materials is declared with regard to the Table 1.

$$LA = (M_1 - M_2) / (M_1) * 100 \quad (1)$$

1.2 Aggregate Strength against to the Physical Factors

Not only some physical changes arise from seasonal variances like freeze-thaw, wet-dry, warm up, cool down affect the strength of the aggregates but also decrease of aggregate strength in the event of frequent repetition of

this situation. Specification of aggregate strength against the physical factors is important and the determination of the frost resistance of aggregates especially under the influence of long term air is definitely required.

The frost resistance of aggregates can be performed by two different ways (normal and accelerated) according to the standards of TS EN 1367-1 and TS EN 1367-2. Chemical solutions such as Mg_2SO_4 or Na_2SO_4 are mainly used in the accelerated process.

Table 1. The categories according to the largest Los Angeles abrasion value

LA abrasion value	Category, LA
≤ 15	LA ₁₅
≤ 20	LA ₂₀
≤ 25	LA ₂₅
≤ 30	LA ₃₀
≤ 35	LA ₃₅
≤ 40	LA ₄₀
≤ 50	LA ₅₀
> 50	LA _{declaration}

1.2.1 Determination of Freezing-Thaw Resistance

The resistance of the aggregate exposed to successive freeze and thaw process should be determined in order to evaluate their strength. The 3000 g of test sample obtained from 8-16 mm of particle sized aggregate pile is washed and dried in the oven at 110 ± 5 °C. After cooling to ambient temperature, the weight of sample (M_1) is recorded.

Test samples are placed into the metal boxes and distilled water is poured till the water level is covered at least 10 mm over the level of the samples. After the boxes are closed tightly, they are kept at 20 °C for a period of 24 hours. The metal boxes are then placed into a cooler paying attention of the 5 cm of distance between them. Samples in the cooler are subjected to the freeze-thaw cycles for 10 times in the following manner.

a) Temperature is reduced from 20°C to 0°C through 150 min and kept for 210 min at 0 °C.

b) Temperature is reduced from 0°C to -20°C through 180 min and kept for 240 min at -20 °C.

The sample is discharged through a sieve having a half opening of preliminary sieve width after completion of 10 cycles. Test sample is then washed and screened on the sieve by hand. The aggregates remained on the sieve dried in the oven at 110 ± 5 °C until constant mass is reached. As soon as the sample is cooled, the weigh is recorded (M_2).

TS EN 1367-1 standard is followed for the construction of this experiment. The mass loss is calculated after the freeze-thaw test by using following Equation (2).

$$F = (M_1 - M_2) / M_1 * 100 \quad (2)$$

1.2.2 Frost Resistance Test with Sodium Sulphate (Na_2SO_4) Solution

TS EN 1367-2 standard can be utilized step by step and repeatedly in order to define the freezing and the thawing effect on the aggregates. In this test, the aggregates are periodically submerged in the chemical solution and the frost resistance is determined after drying in an oven.

The 500 g of test sample obtained from 10-14 mm of particles is washed with distilled water and dried in the oven at 110 ± 5 °C during 24 hours' time period. After cooling of the sample to room temperature, the aggregates are screened by the sieve (10-14 mm) and weighed (M_1).

Then, the aggregates are put into the wire basket container and the container is also submerged into the bucket which contains chemical solution covering at least 10 mm over the sample level. After 16-18 hours, the sample is removed from the bucket, percolated and weighed after dried at 105 °C. This process is repeated for five times periodically. The aggregates is washed with $BaCl_2$ solution to remove the sodium sulphate and then dried again during 24 h time period. The aggregates are then

weighed and it is recorded as M_2 after screened with sieve (10 mm). The weight loss is calculated by using Equation 2.

1.2.3 Determination of Slake Durability Strength

This index is used for the classification of rocks (ASTM D4644 and TS 8543) and for also comparison with each other, providing the prediction of the deterioration of rocks under atmospheric conditions by determining the stability against water.

This experiment is purely based on ten representative samples that are intact (weighing 40 to 60 g each and totally 450 to 550 g) placed into the specially designed drum rotating at 20 rpm for a period of 10 minutes.

a) Test samples placed into the clean drum are dried at 105 °C for 16 hours.

b) The weight of the drum and the samples is recorded as A.

c) The drum and the sample dried in the oven for 16 hours at 105 °C, or to constant mass after the rotation period completed. The weight of the drum and the samples is recorded as B.

d) After the second cycle, same operations are repeated and the weight of the drum and the sample is recorded as C.

e) The weight of the empty drum is recorded as D.

The slake durability index is calculated for first (I_{d-1}) and second (I_{d-2}) cycle from the Equation 3 and 4, respectively. If the value of I_{d-2} is between 0-10%, the I_{d-1} value is used for classification.

$$I_{d-1} = (B-D)/(A-D) * 100 \quad (3)$$

$$I_{d-2} = (C-D)/(A-D) * 100 \quad (4)$$

The classification of the slake durability strength of materials is performed according to the Table 2.

Table 2. Classification of the slake durability strength (Gamble, 1971)

Index value (%)		Classification
I_{d-1}	I_{d-2}	
<60	0-30	very low
60-85	30-60	low
85-95	60-85	medium
95-98	85-95	medium-high
98-99	95-98	high
>99	98-100	very high

2 MATERIAL AND METHOD

The basalt and the andesite samples used for experiments were obtained from the deposits located in the vicinity of Ankara and Karaman cities. Geological maps of these deposits are illustrated in Figures 1 and 2, respectively.

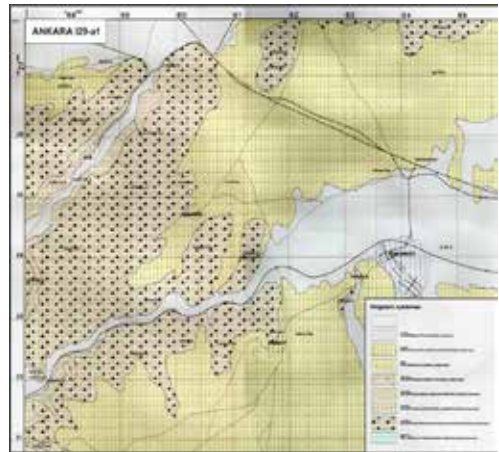


Figure 1. Geological map of Ankara vicinity

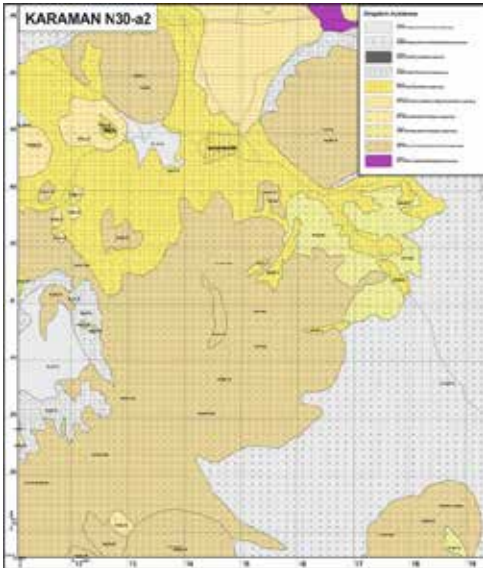


Figure 2. Geological map of Karaman vicinity

The samples were put into the sample vessel to use for appropriate tests after classification by screening for different sizes.

A steel ball mill (20 cm of inner diameter, 19.1 cm of length, volume of 6000 cm³) was employed for the determination of grindability performance. 92 of stainless steel balls (specific gravity of 7.8 g/cm³) were used whereas the fractional ball filling (J, Eq. 5) was 0.2, the fractional powder filling (f_c) was 0.04. The mill speed was selected as to be 75% of critical velocity. Powder-ball loading ratio (U, Eq. 6) was also 0.5 and the amount of the powder were determined as 386 g for the basalt sample and 351 g for the andesite sample by using Equation 7. The experiments were performed in dry medium.

$$J = \frac{[(\text{Ball weight}/\text{ball density})] / \text{volume of mill} * (1/0.6)}{(5)}$$

$$U = f_c / (0.4 * J) \quad (6)$$

$$f_c = \frac{[(\text{Sample weight}/\text{sample density})] / \text{volume of mill} * (1/0.6)}{(7)}$$

3 RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 Determination of Physical Properties

The densities of samples were ascertained as to be 2.68 g/cm³ for the basalt and 2.44 g/cm³ for the andesite sample by using a pycnometer.

3.2 Determination of Mechanical Properties

3.2.1 Los Angeles (Abrasion) Test Results

Abrasion tests given in the previous section were performed according to the standards as described in detail, and the obtained results are given in Table 3.

Table 3. Los Angeles abrasion values

Sample	LA (%)
Basalt	16.18
Andesite	42.28

The LA value (mass loss) of the basalt sample was ascertained as 16.18% and this value was lower than that of the andesite sample (42.28%). According to the categories given in Table 1, the basalt and the andesite samples were involved in LA₂₀ and LA₅₀, respectively.

3.2.2 Freezing-Thaw Test Results

The obtained results were given in Table 4 in consequence of the freezing-thaw tests carried out on the basalt and the andesite samples.

Table 4. The mass loss of the freezing-thaw tests

Sample	Mass loss (%)
Basalt	0.62
Andesite	0.86

According to the TS 10449 standard, the mass loss of samples due to the freezing and

thaw cycles are categorized as given in Table 5. In addition, the mass loss of specimens used for the facing stone should be under 1%. Both for the basalt and the andesite samples, the obtained mass loss values were lower than the value of 1% and they took place in the F₁ category.

Table 5. The categories versus the highest freezing-thaw resistance

Mass loss of Freezing-thaw (%)	Category F
≤1	F ₁
≤2	F ₂
≤4	F ₄
>4	F _{declaration}

3.2.3 Frost Resistance Test Results

The mass loss values obtained from frost resistance tests were given in Table 6. The mass loss value of the basalt sample was lower and this sample took place in the MS₁₈ category according to the Table 7. The mass loss of the andesite sample was found to be 69.84%.

Table 6. The mass loss of the frost resistance tests with chemical solution

Sample	Mass loss (%)
Basalt	12.22
Andesite	69.84

Table 7. The categories versus the highest mass loss values with chemical solution (TS 706 EN 12620)

Solution mass loss (%)	Category MS
≤18	MS ₁₈
≤25	MS ₂₅
≤35	MS ₃₅
>35	MS _{declaration}

3.2.4 Slake Durability Strength Test Results

The I_{d-1} and I_{d-2} values of the basalt and the andesite samples were given in Table 8, respectively. The I_{d-2} values of the samples were greater than % 99 and pertained to ‘very high’ category given in Table 2. Therefore, the resistivity of the samples against to the abrasion and fragment were quite high.

Table 8. Slake durability test results

Sample	I _{d-1} (%)	I _{d-2} (%)
Basalt	99.5	99.1
Andesite	99.43	99.05

3.3 Determination of Grindability Performance

The time dependent grindability performances of the basalt and the andesite samples were also determined. For this purpose, three different size ranges from each sample such as 0.850+0.600 mm, -0.600+0.425 mm and -0.425+0.300 mm were prepared. Each sample was fed into the mill separately and after the mill was stopped at certain intervals, whole sample was discharged from the mill. Approximately 50 g of representative sample was taken from the discharged sample by cone and quarter method. This representative sample was washed using the one-down size of sieve for 5 minutes time period and then dried at least for 10 minutes. After the screening for 10 minutes, the sample retained on the sieve was weighed. The grindability performance was adjusted by the determination of the percentage of sample passing the sieve. This operation was performed for each sample and the obtained results were given in Figure 3 and 4 for the basalt and the andesite samples, respectively.

The amount of material passing from the sieve was increased with a rise in grinding time. While the basalt sample had the greatest percentage of sample passing to the sub-dimension at -425+300 μm size range

(Fig. 3), this value was gained for the andesite sample at $-600+425 \mu\text{m}$ size range (Fig. 4). In addition, the resistance to the breaking for both samples was the greatest at $-850+600 \mu\text{m}$ size range of feed. The percentage of material passing through the sub-dimension was the less at this size range. Similar findings were also reported in the study of Aras (2009) who investigated the relationship between mechanical properties and grinding performance of some rocks.

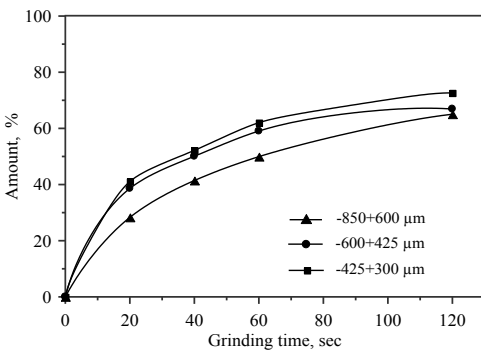


Figure 3. Time dependent grindability performance of basalt sample

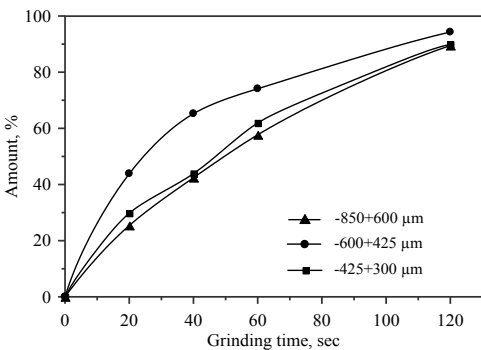


Figure 4. Time dependent grindability performance of andesite sample

4 CONCLUSIONS

The abrasion, the freezing-thaw, slake durability and frost resistance properties of

the basalt and the andesite samples used as aggregate were investigated in the first stage of this paper. In the second phase, the grinding performances of samples were revealed for different feed size range using a steel ball mill. The obtained results were given below.

The mass loss of abrasion of basalt was lower (16.18%) than that of andesite (42.28%). The basalt and the andesite samples fall into the categories of LA₂₀ and LA₅₀, respectively.

It was concluded that the loss of freezing-thaw of the basalt (0.62%) was lower than the andesite (0.86%). Both samples were conformant for their values (F_1) under 1%.

It was also concluded that the slake durability index (I_{d-2}) of both the andesite and the basalt samples were very close. Due to the I_{d-2} values of the samples above the 99%, they belonged to 'very high' category.

The freezing loss with sodium sulphate was seen into superior for the andesite sample. The basalt sample belonged to the MS₁₈ category with 12.22% of freezing loss.

When compared for the grindability performance of two samples, the percentage of andesite sample passing through the sub-dimension was greater and this value was above the 90% for all size ranges.

REFERENCES

- Aras, A., 2009. Correlation of mechanical properties of some rocks with their grindability, PhD thesis, University of Selcuk, s. 113 (in Turkish).
- ASTM D4644, 1998. Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks.
- Bearman, R.A., 1999. The Use of the Point Load Test for the Rapid Estimation of Mode I Fracture Toughness, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36, s.257-263.
- Bond, F.C., 1952. The Third Theory of Comminution, *Min. Eng. Trans. AIME*, 193, s.484- 494.

- Caglayan, M., Haperveren, S., Ipekoglu, B., Kursun, I., 1999. Beton yapımında kullanılan agregaların özellikleri ve örnek bir kuruluş için. 2. *National Aggregates Symposium.*, s.69-79, İstanbul.
- Gamble, J.C., 1971. Durability plasticity classification of shales and other argillaceous rocks, PhD thesis, University of Illinois, s.161.
- Ozer, U., Cabuk, E., 2007. Bond İş İndeksi ve Kaya Parametreleri Arasındaki İlişki, *Journal of Istanbul Univ. Engineering Faculty Geology*, 20, 1, s.43-49.
- Ozkahraman, H.T., 2005. A Meaningful Expression Between Bond Work Index, Grindability Index and Friability Value, *Minerals Engineering* 18, 1057–1059.
- Kahraman, E., Kilic, A.M., Kilic, O., 2015. Assessment of the usage possibilities of Limestones in Adana-Saimbeyli-Avcıpınarı Village as aggregates, 7. National Aggregate Symposium, s.293-299 (in Turkish).
- Kick, F., 1885. Das Gesetz der proportionalen Widerstande und seine anwendung felix. Verlag von Arthur Felix, Leipzig, Germany.
- TS EN 1097-2, 2000. Turkish Standard, Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation.
- TS EN 1367-1, 2009. Turkish Standard, Tests for thermal and weathering properties of aggregates – Part 1: Determination of resistance to freezing and thawing.
- TS EN 1367-2, 1999. Turkish Standard, Tests for thermal and weathering properties of aggregates- Part 2: Magnesium sulfate test.
- TS 10449, 1992. Turkish Standard, Marble-Calcium Carbonate Based-Used for Building and Facing
- TS 706 EN 12620, 2003. Turkish Standard, Aggregates for concrete.
- TS 8543, 1990. Turkish Standard, Methods for determining swelling and slake-durability index properties.
- von Rittinger, P.R., 1867. Lehrbuch der Aufbereitungskunde, Ernst and Korn, Berlin, Germany.

Kayaçların İş İndeksinin Bulanık Mantık ile Tahmin Edilmesi *Estimation of the Work Index of Rocks via Fuzzy Logic*

A.Uçar, S. Karaca

Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Evliya Çelebi Yerleşkesi, Kütahya, Türkiye

E. Gülbandılar

Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Meşelik Yerleşkesi, Eskişehir, Türkiye.

ÖZET Bu çalışmada, ufalamada (boyut küçültme) en önemli parametrelerden olan ve tayin edilmesi zor ve zahmetli olan bond iş indeksinin (W_i) bulanık mantık ile tahmin edilebilirliği araştırılmıştır. Bu nedenle bond iş indeksiyle arasında bir bağlantı olabileceği düşünülen, kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri kullanılarak bond iş indeksinin tahmin edilmesi için bulanık mantık ile bir model oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışmada magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaç gruplarından 17 farklı kayaca ait özgül ağırlık, yığın yoğunluğu, aşınma indeksi, basınç dayanımı ve absorpsiyon değerleri bulanık sistemin giriş değişkeni olarak kullanılmıştır. İş indeksi ise çıkış değişkeni olarak belirlenmiştir. Gerçek değerler ile bulanık mantık tahmin sonuçları istatistiksel olarak karşılaştırıldığında gruplar arasında istatistiksel olarak fark bulunmadığı görülmüştür ($F=4,35$ ve $P=0,633$, $P>0,05$). Tablodan ve istatistiksel sonuçlar doğrultusunda genel olarak bulanık mantık sisteminin iş indeksi tahminlerinin başarılı bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: İş indeksi, özgül ağırlık, kütle yoğunluğu, aşınma indeksi, basınç dayanımı, absorpsiyon, bulanık mantık.

ABSTRACT In this study, estimation of bond work index which is one of the most important parameters for crushing (size reduction) via fuzzy logic was studied. Therefore, the physical and mechanical properties of rocks which are thought to have a relation with the bond work index were used together with an objection of generating a model for the prediction of the bond work index via fuzzy logic. Specific density, bulk density, wear index, compressive strength and absorption values of 17 different rocks from magmatic, metamorphic and sedimentary rock groups were used as input variables for the fuzzy system. Whereas the index in question was determined as the output variable. No difference was observed among the groups when the real values and the estimated results obtained through fuzzy logic were compared statistically ($F=4,35$ and $P=0,633$, $P>0,05$). It has been put forward from both table and the statistical results that the fuzzy logic system can be successfully used in general for the prediction of work index.

Key words: Work index, specific gravity, bulk density, wear index, compressive strength, absorption, fuzzy logic.

1 GİRİŞ

Cevher hazırlama işlemlerinde öğütme için harcanan enerji, toplam enerji tüketiminin %75'ine kadar çıkabilmektedir (Charles and Gallagher, 1982). Ufalama özelliklerini belirlemek için çeşitli tekniklere dayalı olan öğütülebilirlik, cevher hazırlama işlemlerinde kırma ve öğütme verimliliğini değerlendirmek için kullanılır. Enerji tüketimi açısından ufalama verimliliği son yıllardaki elektrik maliyetlerindeki artıştan dolayı önem kazanmaktadır (Horst and Bassarear, 1976).

Ufalama devrelerinin tasarımında Bond iş indeksi, boyutlandırmada, gerekli gücün hesaplanmasında ve performansın değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda bir standart haline gelen bu yöntemin kullanımı tatmin edici sonuçlar da sağlamaktadır. Bond öğütülebilirlik deneyi, ufolanacak malzemenin direncini ifade eden iş indeksinin belirlenmesi için yapılmaktadır. Bu yöntemin pek çok avantajının yanı sıra testin uzun sürmesi, özel bir değirmene ihtiyaç duyulması ve yorucu olması gibi bazı dezavantajları da vardır (Bond, 1961; Deniz ve Özdağ, 2003). Bu nedenle bazı araştırmacılar daha hızlı bir yöntemin bulunması için hem Bond değirmeni hem de sıradan laboratuvar değirmeni kullanarak, cevherin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini kullanarak kinetik yaklaşımlarda bulunan çalışmalar yapmışlardır (Amstrong, 1986; Berry ve Bruce, 1996; Deniz, 2003; Gharegheshlagh, 2016; Horst ve Bassarear, 1976; Kapur, 1970; Karra, 1981; Lewis ve ark., 1990; Mucsi, 2007; Saeidi vd., 2013; Smith ve Lee, 1963; Sönmez ve Demirel, 1992; Yap ve ark., 1982).

Swain ve Rao (2009), yumuşak ve gevrek kayaların Bond iş indeksinin belirlenmesinde Hardgrove indeksi ve gevreklik parametresinin (brittleness) ilişkisini incelemiş ve Hardgrove indeksi kullanılarak hızlı bir şekilde Bond iş

indeksinin belirlenebileceğini ancak gevreklik ile anlamlı bir ilişkinin olmadığını belirlemiştir. Deniz ve Özdağ (2003), öğütme üzerine elastik parametrelerin etkisini ve bunların arasındaki ilişkiyi incelemişler ve bu parametreler yardımıyla iş indeksinin bulunabileceğini ifade etmişlerdir. İpek ve Uçbaş (2003), iş indeksinin seramik hammaddelerin sertliklerine bağlı olduğunu bulmuşlardır. Abdel Hafez (2012), boksit, kaolin, granodiyorit, manyetit, granit, feldispat ve kuvarsin sertlik, basınç dayanımı ve elastik modül değerlerinin Bond iş indeksi ile doğrusal bir ilişkisinin olduğunu ancak malzemelerin aşındırma indeksinin artışıyla Bond iş indeksinin azaldığını ortaya koymuştur. Özer ve Çabuk (2006), Bond iş indeksi ile kaya parametreleri arasında ilişkiyi incelemiş, Bond iş indeksi ile Ultrasonik ses geçirgenliği, Shore sertliği, nokta yük indeksi ve tek eksenli basınç dayanımı arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca kayaların gruplandırılarak araştırma yapılmasının daha anlamlı sonuç vereceğini belirtmişlerdir.

Son yıllarda uzman sistemler ile modelleme çalışmaları madencilik sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Güleç ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada linyit kömürü alt ısı değerinin bulanık mantık ile tahmin edilmesi konusunda çalışma yapmışlardır. Geliştirilen bulanık mantık modelin alt ısı değerleri ile kömürün gerçek alt ısı değeri arasında istatistiksel olarak önemli bir korelasyon olduğunu bulmuşlardır ($R^2=0,75$, $c=0,864$ ve $p>0,05$). Bir başka çalışmada Güleç (2014), linyit kömürü alt ısı değerinin yapay sinir ağları ile tahmini konusunda bir çalışma ortaya koymuştur. Jeberaj ve ark. (2009) enerji üretimi için kömür tüketiminin yapay sinir ağları ile modellenmesi konusunda araştırma yapmışlardır. Cierpisz ve Heyduk (2002) bulanık mantık yöntemi ile kömür karıştırıcının kontrolünü sağlayacak bir simülasyon modeli yapmışlardır. Ghasemi,

ve Ataei (2013) maden ocaklarındaki en ciddi tehlikeden biri olan tavan çökmesini bulanık mantık ile tahmin edecek bir yazılım tasarlamışlardır.

Bu çalışmanın amacı, mağmatik, metamorfik ve sedimanter kayaç gruplarından 17 farklı kayacın literatürden alınan özgül ağırlık (Metso, 2008; Sandvik, 2008; Weiss, 1985(a)), yığma yoğunluğu (Metso, 2008; Sandvik, 2008), aşındırma indeksi (Metso, 2008; Sandvik, 2008; Weiss, 1985(b)), basınç dayanımı (Sandvik, 2008) ve absorpsiyon (Telsmith, 2011) gibi bazı fiziksel ve mekanik özellik değerleri ile bond iş indeksi arasında bir bağlantı olabileceği düşünülerek, bond iş indeksi değerlerinin tahmin edilmesi için bulanık mantık kullanılarak bir model oluşturmaktır.

2 MATERYAL VE METOT

2.1 Bulanık Sistemin Tasarımı

İş indeksinin belirlenmesinde kullanılan program C# programlama dili kullanılarak tasarlanmıştır. Giriş parametreleri olarak özgül ağırlık, yığma yoğunluğu, aşınma indeksi, basınç dayanımı ve absorpsiyon değişkenleri kullanılmıştır. Çıkış değişkeni olarak iş indeksi katsayısı kullanılarak yazılım tasarlanmıştır.

2.2 Bulanıklaştırma (Fuzzification)

Giriş değişkenlerinin hangi kümenin ne derece üyesi olduğunun belirlenmesi süreci bulanıklaştırma olarak adlandırılır. Giriş değişkenlerinin üyelik kümeleri Şekil 1'deki gibi belirlenmiştir. Üyelik kümelerinin şekli giriş parametrelerinin üyelik derecelerinin değişimine ve daha önceki yapılan çalışmalara paralel olarak belirlenmiştir (Carreno ve Jani; 1993; Güler ve ark., 2008; Dalkılıç ve ark., 2014). Üyelik dereceleri, üyelik kümelerinin şekli dikkate alınarak hesaplanmıştır. Örneğin özgül ağırlığın üyelik derecesinin hesabı Denklem.1 kullanılarak hesaplanmıştır. Özgül ağırlığın 2,65 değeri için Denklem 1 kullanılarak

$$\mu_{dusuk} = \frac{2,9 - 2,65}{2,9 - 2,6} = 0,83 \text{ ve}$$

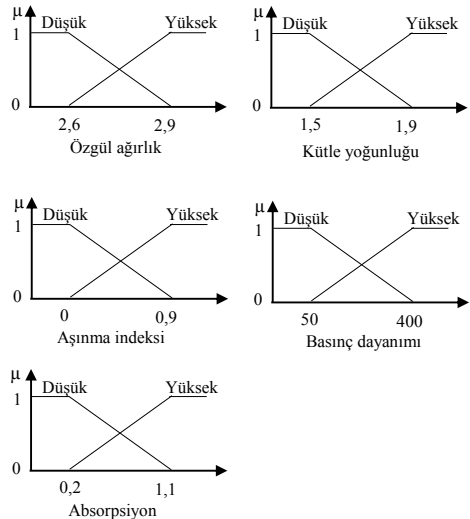
$$\mu_{yukse} = \frac{2,65 - 2,6}{2,9 - 2,6} = 0,17 \text{ üyelik derecesi}$$

hesaplanabilir. Diğer değişkenlerde benzer hesaplama teknikleri kullanılarak bulanıklaştırma işlemleri gerçekleştirilebilir (Dalkılıç ve ark., 2014).

$$\mu_{dusuk} = \begin{cases} 1, & \text{özgül ağırlık} \leq 2,6 \text{ ise,} \\ \frac{2,9 - \text{özgül ağırlık}}{2,9 - 2,6}, & 2,6 < \text{özgül ağırlık} \leq 2,9 \text{ ise,} \\ 0, & 2,9 < \text{özgül ağırlık} \text{ ise,} \end{cases} \quad (1)$$

2.3 Kural Tablosu (Rule base)

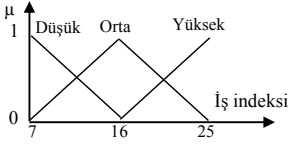
Bulanık giriş değişkenleri arasındaki ilişkilerden çıkış kümelerinin dilsel ilişkilerinin tanımlanması kural tablosu aracılığı ile yapılır. Şekil 1'de görüldüğü üzere giriş değişkenlerinin kümelerinin



Şekil 1. Giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarının ve üyelik derecelerinin değişimi

üyelik dereceleri arasındaki dilsel ilişkiler ile Şekil 2'deki çıkış değişkeni üyelik kümesi dil ifadeleri oluşturulur. Kural tablosunda giriş değişkenleri arasında tüm ilişkiler

“ve” bağlacı kullanılarak oluşturulmuştur (Dalkılıç ve ark., 2014). Beş adet giriş değişkenin toplam on adet kümesi çıkış değişkenin üç kümesi arasında toplam 32 adet sözel ilişki kuralı tanımlanır. Bu kurallar oluşturulurken bu alanda yapılan deneysel çalışma sonuçları ve kişisel tecrübeler dikkate alınarak hazırlanmıştır. Bu ilişki kuralları;



Şekil 2. Çıkış değişkeninin üyelik fonksiyonları ve üyelik derecelerinin değişimi

if Özgül ağırlık=Düşük ve Kütle ağırlığı=Düşük ve Aşınma indeksi=Düşük ve Basınç dayanımı=Düşük ve Absorpsiyon=Düşük ise İş indeksi=Düşük
if Özgül ağırlık= Yüksek ve Kütle ağırlığı=Düşük ve Aşınma indeksi=Düşük ve Basınç dayanımı=Düşük ve Absorpsiyon=Düşük ise İş indeksi=Orta

.....
.....

if Özgül ağırlık=Düşük ve Kütle ağırlığı=Yüksek ve Aşınma indeksi=Yüksek ve Basınç dayanımı=Düşük ve Absorpsiyon=Düşük ise İş indeksi=Yüksek şeklinde tanımlanır.

Burada ki “ve” bağlacı ilişkileri ortaya konulurken çıkış kümesinin üyelik derecesinin atanmasında giriş üyelik derecelerinin en küçük değerinin atanmasını ortaya koymaktadır. Bu ilişkiler kodlara benzer mantık ve düşüncesi ile aktarılır.

2.4 Çıkarım (Inference)

Çıkarım birimi kural tablosundaki çıkış üyelik derecelerinin belirlenmesi işlemidir. Çıkarım işlemi “min -max” çıkarım kuralı

kullanılarak oluşturulmuştur. Bu yöntemle göre çıkış üyelik kümelerinin üyelik dereceleri içindeki maksimum üyelik derecesi o kümenin üyelik derecesi olarak aktarılır (Güler ve ark., 2008).

2.5 Durulama (Defuzzification)

Durulama işlemi bulanık çıkış üyelik kümelerinin üyelik derecelerinin bulanık olmayan değerlere dönüştürülme işlemidir. Çalışmada durulama işlemi için yaygın olarak kullanılan ağırlık ortalaması (centroid of gravity, COG) yöntemi kullanılmıştır. Ağırlık ortalamasını hesaplamak için;

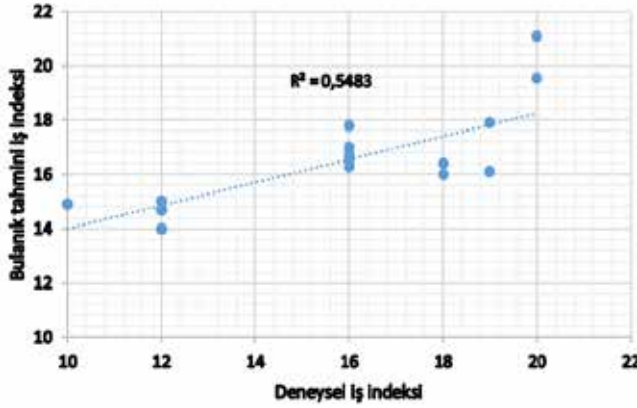
$$WI = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot M_i}{\mu_i} \quad (2)$$

bağıntısı kullanılmıştır (Güler ve ark., 2008).

Burada μ_i üyelik derecesini, M_i üyelik kümesinin bulanık olmayan değerini ve “WI” ise durulanmış çıkış değerini göstermektedir.

3 BULGULAR VE SONUÇLAR

Gerçek değerler ile bulanık mantık tahmin sonuçları istatistiksel olarak Independent Samples Student t-test yöntemi kullanılarak karşılaştırıldı ve gruplar arasında istatistiksel olarak fark bulunmadığı tespit edilmiştir (F=4,35 ve P=0,633, P>0,05). İstatistiksel sonuçlar, genel olarak bulanık mantık tahminlerinin başarılı bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Çalışmada geliştirilen modelin testi için ayrılan 17 adet örneğe ait gerçek değerler ile tahmin sonuçları arasında anlamlı bir ilişki olduğu Şekil 3’de görülmektedir. Şekil 3’den de görüldüğü gibi $R^2=0,5483$ olarak bulunmuştur. Bu sonuç örneklem sayısı az olduğu için tatmin edici değildir. Bundan sonraki çalışmalarda örneklem sayısı artırılarak çalışmalar yapılmalıdır.



Şekil 3. Deneysel sonuçlar ile bulanık sonuçların dağılımı

KAYNAKLAR

- Abdel Haffez, G.S., 2012. Correlation between bond work index and mechanical properties of some Saudi ores, *Journal of Engineering Sciences*, Assiut University, 40, 1, s. 271-280.
- Armstrong, D.G., 1986. An alternative grindability test: an improvement of the Bond procedure. *Int. J. Min. Process.*, 16, 197-208.
- assessment using Fuzzy CLIPS, WESCON/93-Conference Record, 536-541.
- Berry, T.F., ve Bruce, R.W., 1966. A simple method of determining the grindability of ores. *Can. Min. J.*, 87, 63-65.
- Bond, F.C., 1961. Crushing and grinding calculations, *Brit.Chem. Eng.*, Part I, 6, 378-385, Part II, 6, 543-548.
- Carreno, L. A. ve Jani, Y., 1993. A fuzzy expert system approach to insurance risk
- Charles, W.D., ve Gallagher, A.E.J., 1982. Comminution energy usage and material wear, *Design and Installation of Comminution Circuits*, s. 248-274.
- Cierpisz, S. ve Heyduk, A. 2002. A simulation study of coal blending control

- using a fuzzy logic ash monitör, *Control Engineering Practice*, 10(4), 449-456.
- Dalkılıç, N., Sevim, Ş. ve Gülbandır, E., 2014. Hayat Sigortalarında Bulanık Mantık Yöntemi ile Risk Değerleme Modeli, 6(1), 90-102.
- Deniz, V. ve 2003. Relationships Between Bond's Grindability (Gbg) and Breakage Parameters of Grinding Kinetic on Limestone, 18th International Mining Congress and Exhibition of Turkey-IMCET, 451-456.
- Deniz, V., ve Özdag, H., 2003. New approach to Bond grindability and work index: dynamic elastic parameters, *Mineral Engineering*, 16-3, s. 211-217.
- Gharegheshlagh, H.H., 2016. Kinetic grinding test approach to estimate the ball mill work index, *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 52(1), 342-352.
- Ghasemi, E. ve Ataei, M. 2013. Application of fuzzy logic for predicting roof fall rate in coal mines, *Neural Computing and Applications*, 22(1), 311-321.
- Güleç, M. 2014. Linyit kömürünün alt ısı değerinin yapay sinir ağları kullanılarak belirlenmesi, *Dumlupınar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.

- Güleç, M., Uçar, A. ve Gülbandılar, E. 2015. Linyit Kömürünün Alt Isı Değerinin Bulanık Mantık Kullanılarak Tahmin Edilmesi, Akademik Bileşim-2015, Eskişehir.
- Güler, I., Tunca, A. ve Gülbandılar, E., 2008. Detection of traumatic brain injuries using fuzzy logic algorithm, Expert Systems with Applications, 34, 1312-1317.
- Horst, W. E., ve Bassarear, J. H. 1976. Use of simplified ore grindability technique to evaluate plant performance, Trans. Soc. Min. Eng., 260, s. 348-351.
- İpek, H. ve Uçbaşı, Y., 2003. Temel seramik hammaddelerinin iş indekslerinin belirlenmesi, Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi, 18, s. 2.
- Jebaraj, S., S. Iniyan, S ve Goic, R. 2011. Forecasting of Coal Consumption Using an Artificial Neural Network and Comparison with Various Forecasting Techniques, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 33(14), 1305-1316.
- Kapur, P.C., 1970. Analysis of the Bond Grindability Test, Trans. IMM, 79, s.103-108.
- Karra, V.K., 1981. Simulation of Bond grindability tests. CIM Bull., 74, 195-199.
- Lewis, K.A., Pearl, M. ve Tucker, P., 1990. Computer Simulation of the Bond Grindability Test, Minerals Engineering, 3, 1/2, 199-206.
- Metso, 2008. Crushing and screening handbook, s.13-5.
- Mucsi, G., 2007. Fast test method for the determination of the grindability of fine materials, Chem. Eng. Research and Design, 86, 395-400.
- Özer, Ü. ve Çabuk, E., 2006. Bond iş indeksi ile kaya parametreleri arasındaki ilişki, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 20, s. 43-49.
- Saeidi, N., Noaparast, M., Azizi, D., Aslani, S. ve Ramadi A., 2013. A developed approach based on grinding time to determine ore comminution properties, Journal of Mining & Environment, 4, 2, 105-112.
- Sandvik, 2008. Rock Processing Manual-Travel Edition, s. 178-178.
- Smith, R.W., ve Lee, K.H., 1968. A comparison of data from Bond type simulated closed-circuit and batch type grindability tests. Trans. Soc. Min. Eng., 241, 91-99.
- Sönmez, B., ve Demirel, H., 1992. Benzetişim Kullanılarak Bond Öğütülebilirlik Testinin Basitleştirilmesi, IV. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 66-82.
- Swain, R.ve Rao, R.B., 2009. Alternative Approaches for Determination of Bond Work Index on Soft and Friable Partially Laterised Khondalite Rocks of Bauxite Mine Waste Materials, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, 8, 9, s. 729-743.
- Telsmith, 2011. Mineral Processing Handbook, s.177.
- Weiss, N.L., 1985 (a). SME Mineral Processing Handbook-1, Society of Mining Engineers, New York.
- Weiss, N.L., 1985 (b). SME Mineral Processing Handbook-2, Society of Mining Engineers, New York.
- Yap, R.F., Sepulude, J.L., ve Jauregui, R., 1982. Determination of the Bond work index using an ordinary laboratory batch ball mill. Designing and Installation of comminution circuits. Soc. Min. Eng., 176-203.

Balast Malzemesi Dayanımı Kestiriminde Nokta Yükü Dayanım İndeksine İlişkin Kullanım Önerilerinin Geliştirilmesi

Development of Proposals for Utilization of Point Load Strength to Estimate the Strength of Ballast Material

E. Köken, A. Özarslan

Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET Nokta yükü dayanım indeksi, uygun boyutlarda silindirik numunelerin alınmadığı durumlarda genellikle kayaların dayanım sınıfının belirlenmesini amaçlayan bir alternatif deney yöntemidir. Tekrarlanabilirliği yüksek ve maliyeti düşük bir deney yöntemi olan nokta yükü deneyi; pratik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Nokta yükü deneyi, silindirik (eksenel, çapsal), blok ve düzensiz kaya malzemesi örnekleri üzerinde uygulanabilmektedir. Balast agrega malzemesi seçiminde balast malzemesinin ayrışma – bozunma döngüsüne ve dinamik yükler altındaki parçalanmalara karşı dayanımlı olması önem arz etmektedir. Balast üretiminde malzemenin yerinde dayanımı ve kalite-kontrolünün tespitini amaçlayan bu çalışmada düzenli ve düzensiz şekilli balast malzemelerinde bir dizi nokta yükü deneyi gerçekleştirilmiştir. Düzenli silindirik ve düzensiz örnekler kullanılarak gerçekleştirilen nokta yükü deneylerinde izlenen yöntem ve teknikler özetlenmiştir. Özellikle düzensiz balast örneklerinde bir sorun haline gelen eşdeğer karot çapının kestirimine ilişkin detaylı araştırmalar yapılmıştır. Düzensiz örnekler üzerinde gerçekleştirilen nokta yükü deney sonuçları ile düzeli silindirik örnekler üzerinde elde edilen deney sonuçları karşılaştırılmış ve farklılıkların olası sebepleri tartışılmıştır. Düzensiz örneklerde nokta yükü dayanım indeksi testinin uygulanabilirliği üzerine bazı kullanım ve hesaplama önerileri ifade edilmiştir.

ABSTRACT Point load strength index is an alternative testing method generally aiming to determine the strength classification of rocks in such cases where cylindrical core samples cannot be obtained with proper dimensions. Point load test is mainly used in practical field and laboratory applications, as a highly repeatable and a cost-efficient strength testing method. Point load test can be applied on cylindrical (axial, diametral), blocky and irregular shaped rock material specimens. Resistance against weathering - decomposition cycle and fragmentation under dynamic loads are important matters for selecting ballast aggregate material. In this study, a series of point load test are carried out for determination of the in-situ strength of regular and irregular shaped ballast material and to set forth the quality control of ballast during production. The method and techniques followed in point load tests applied by using regular cylindrical and irregular shaped samples are summarized. Detailed investigations are conducted on equivalent core diameter becoming particularly a problem in ballast samples being irregular shaped. Point load test results obtained from irregular shaped samples are compared with results obtained from cylindrical shaped samples and possible reasons of discrepancy are discussed. Some proposals for use and calculation of point load strength test applied on irregular shaped samples are expressed on its applicability.

1 GİRİŞ

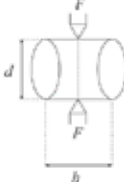
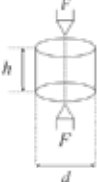
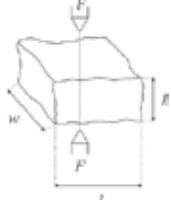
Nokta yükü dayanım indeksi deneyi tek eksenli basınç dayanımı testinin yapılmadığı durumlarda (numune alma esnasında yaşanan zorluklar, makina ve teçhizat arızaları vb.) kaya malzemesinin pratik olarak dayanım sınıfının belirlenmesi amacı ile yapılmaktadır. Deney ilk olarak Broch ve Franklin (1972) tarafından önerilmiş olup, deney hidrolik krikö üzerine yerleştirilmiş 60°'lik tepe açısına sahip konik başlıklar arasına yerleştirilen numunelerin yükleme eksenini boyunca kırılması esasına dayanmaktadır. Günümüzde pratik uygulamalarda halen yaygın olarak kullanılmakta olan nokta yükü dayanım indeksi deneyinin önemli kullanım amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kaya kütle sınıflama sistemlerinde kaya malzemesi dayanım sınıfının belirlenmesinde
- Tek eksenli basınç dayanımının kestiriminde

- Kaya malzemesinin anizotropi derecesinin ortaya konmasında (Greminger 1982, Broch 1983, ISRM 1981, Basu ve Kamran 2010, Galvan vd. 2014)
- Beton dayanımı kestiriminde (Robins 1980, Richardson 1989, Ishibashi vd. 2008, Zacob ve Ishibashi 2009)

Bunun dışında nokta yükü dayanımı ile agrega parçalanma direnci (Los Angeles Parçalanma Direnci) arasında bazı anlamlı ilişkiler bulunmuştur (Kahraman ve Günaydın 2007).

Nokta yükü dayanım indeksi deneyi silindirik örnekler üzerinde eksenel ve/veya çapsal olarak, düzensiz örnekler üzerinde ise eksenel olarak uygulanmaktadır. Nokta yükü dayanım indeksi deneyi hakkında (örnek geometrisi, yükleme koşulu, hesaplama yöntemi vb.) önemli bilgiler Şekil 1'de ifade edilmiştir.

Silindirik Örneklerde			
	Çapsal	Eksenel	Düzensiz Örneklerde
Yükleme Koşulları			
Geometrik Koşullar	$1.4d > h > d$	$d > h > 0.3d$	$l > h > 0.3l$
Hesaplamalar			
Eşdeğer Karot Çapı, D_E	$D_E^2 = \frac{\pi d^2}{4}$	$D_E^2 = \frac{4hd}{\pi}$	$D_E^2 = \frac{4h_{ort} l_{ort}}{\pi}$
Nokta Yüklü Dayanımı	$I_s = \frac{4F}{\pi d^2}$	$I_s = \frac{\pi F}{4hd}$	$I_s = \frac{\pi F}{4h_{ort} l_{ort}}$
Düzeltilme Katsayısı (50 mm için)	$A_f = \left(\frac{D_E}{50}\right)^{0.45}$	—	—
Düzeltilmiş Nokta Yüklü Dayanımı	$I_{s50} = I_s A_f$	—	—
Açıklamalar			
F : Kırılma Yüklü (N) d : Örnek Çapı (mm) h : Örnek Kalınlığı (mm) l : Örnek Boyu (mm)			
w : Örnek Genişliği (mm) D_E : Eşdeğer Karot Çapı (mm)			
h_{ort} : Düzensiz Örnekteki Ortalama Kalınlık (mm)			
l_{ort} : Düzensiz Örnekteki Ortalama Boy (mm)			

Şekil 1. Nokta yükü dayanım indeksi testi hakkında genel bilgiler (ISRM 1981 ve Thuro 2010'dan düzenlenerek).

Bu çalışmada silindirik ve düzensiz örnekler üzerinde kaya malzemesinin fiziksel, mekanik ve agregası özelliklerinin belirlenmesi için pek çok kaya mekaniği ve agregası deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde balast malzemesi olarak demiryollarında yaygın olarak uygulanan bazaltik bileşimli kaya malzemesi kullanılmıştır. Laboratuvar çalışmaları kapsamında kaya malzemesinin fiziksel özelliklerinden; kuru yoğunluk (ρ_d , g/cm³), görünür gözeneklilik (n, %), kaya malzemesi mekanik özelliklerinden; tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci} , MPa), nokta yükü dayanımı (I_{s50} , MPa), agregası deneylerinden ise; agregası tane boyu dağılım aralığı, agregası parçalanma direnci (Los Angeles Parçalanma Direnci, LAI, %) ve don kaybı deneyleri (MgSO₄ yöntemi ile 5 döngü; Fr_{loss} , %) gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçları ışığında balast agregası olarak kullanılmakta olan bazaltik kayaların uygunluğı TS-EN 13450 standardına ve Devlet Demiryolları İşletmesi (DDY) Balast Teknik Şartnamesine (2013) göre değerlendirilmiştir.

Çalışmanın esas konusu ise düzensiz örnekler kullanılarak balast agregasının yerinde dayanımının kestirimi için nokta yükü deneyinin kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda silindirik ve düzensiz örnekler üzerinde nokta yükü deneyleri gerçekleştirilmiş ve deney sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Silindirik ve düzensiz örnekler Şekil 1'de ifade edilen eksenel yükleme şartlarında

kırılmış ve yenilme yükleri (F, N) belirlenmiştir. Düzensiz örneklerde nokta yükü deneyinin gerçekleştirilmesi ve Eşdeğer Karot Çapı'nın (D_e) hesaplanması ile ilgili olarak detaylı araştırmalar yapılmıştır. Öncelikle düzensiz balast agregalarının boyutları detaylı olarak belirlenmiş ve agregaları şekilsel olarak Lees (1964) tarafından önerilen agregası şekil sınıflaması doğrultusunda sınıflandırılmıştır. Agregaları aynı zamanda küresellik yönünden Janoo (1998) tarafından önerilen görgül bağıntılar yardımı ile sınıflandırılmıştır. Bu farklı yaklaşımlar ışığında sınıflandırılan balast agregalarından farklı nokta yükü dayanım değerleri elde edilmiştir.

2 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada gerçekleştirilen laboratuvar çalışmaları iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada kaya malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri, ikinci aşamada ise balast malzemesinin agregası özellikleri belirlenmiştir. Kaya malzemesinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde ISRM (1981) tarafından önerilen yöntemler ve TS-699'da ifade edilen teknik koşullar dikkate alınmıştır. Agregası deneylerinde Tane Boyu Analizi TS EN 933-2, Don Kaybı Deneyi TS EN 1367-2 ve Parçalanma Direnci Tayini TS EN 1097-2 standartlarına göre belirlenmiştir. Buna göre balast agregasına ait toplu deney sonuçları Çizelge 1'de ifade edilmektedir.

Çizelge 1. Laboratuvar deney sonuçları.

ρ_d (g/cm ³)	n (%)	σ_{ci} (MPa)	I_{s50} (MPa)	LAI (%) 31.5 - 50 mm (1000 devir)	Fr_{loss} (%) (MgSO ₄ ile 5 Döngü)
2.74 ± 0.03(14)*	1.18 ± 0.40 (14)	130.70 ± 8.60 (6)	9.83 ± 0.72 (17)	13.96 ± 0.81 (3)	1.10 ± 0.34 (5)
Açıklamalar					
ρ_d	Kuru Yoğunluk				
n	Görünür Gözeneklilik				
σ_{ci}	Tek Eksenli Basınç Dayanımı				
I_{s50}	Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanımı				
LAI	Los Angeles Parçalanma Direnci				
Fr_{loss}	Don Kaybı				
*	Ortalama ± Standart Sapma (Örnek Sayısı)				

Gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçlarına göre Kütahya Ilıca Mevkii'nde yer alan bazaltik kayalara ait ortalama I_{s50} değeri göz önünde bulundurulduğunda Bieniawski (1975)'e göre "*Çok Yüksek Dayanımlı*", ortalama σ_{ci} değeri göz önünde bulduğunda ise ISRM (1981)'e göre "*Yüksek Dayanımlı*" kayaç sınıfında yer almaktadır. Balast agregasının uygunluğu ise TS-EN 13450 standardına göre araştırılmış olup, sonuçlar Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2'de ifade edilen deney sonuçları, bu çalışmada incelenen balast agregasının TS-EN 13450 Standardı ile DDY şartnamesine (2013) uygun olduğunu göstermektedir. Balast agregasının dayanımının kestirimi amacı ile agrega boyut ölçümü ve nokta yükü deneyleri ilerleyen bölümlerde detayları ile ifade edilmiştir.

Çizelge 2. İncelenen balast agregasının teknik özellikleri.

Balast Teknik Şartnamesi (TS-EN 13450- 2013; DDY, 2013)	Sınır Değer	Laboratuvar Deney Sonuçları	Uygunluk
Tane Boyu (mm)	31.5 - 63.0	29.0 - 65.0*	√
Los Angeles Parçalanma Direnci (%)	< 20	13.96 ± 0.81**	√
Don Kaybı (%)	< 6	1.10 ± 0.34	√
Ağırlıkça Su Emme (%)	< 2	0.45 ± 0.14	√

Açıklamalar

*

Tane boyu analizi dağılım aralığı

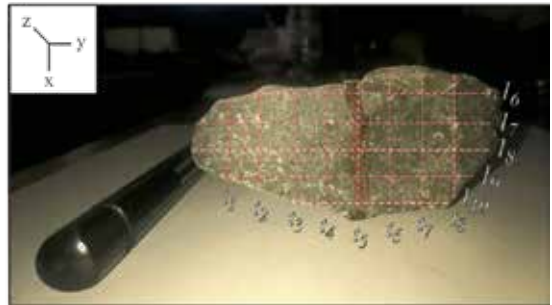
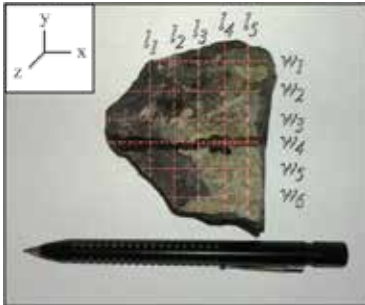
**

Ortalama ± standart sapma

2.1. Balast Agregası Boyutlarının Ölçülmesi

Balast Agregası boyutlarının ölçülmesi hem kumpas yardımı ile hem de agrega sınırlarının sayısallaştırılması ile bilgisayar ortamında iki farklı şekilde belirlenmiştir. Agregası boyutlarının belirlenmesi kalınlık, genişlik ve uzunluk olmak üzere birbirine dik üç eksen ve en az beş ölçü olmak üzere boyut ölçme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Örnek bir balast agregasında klasik (kumpas ile) boyut ölçüm işlemi Şekil 2'de görülmektedir.

Balast agrega çevresinin sayısallaştırılması sonucunda aynı agregaların boyut ölçüm işlemleri bilgisayar ortamında da gerçekleştirilmiştir. Bu işlem, agrega sınırlarını belirli aralıklarla noktalar şeklinde ifade edilmesi ve her bir noktanın kendine özgü koordinatları (x_i, y_i) ile tanımlanmasına şeklinde ifade edilebilir. Birbirine dik ve/veya paralel iki nokta arasındaki dik mesafelerin belirlenmesi ile agrega boyutları daha detaylı şekilde belirlenmiştir.



Şekil 2. Balast agregasında boyut ölçümü işlemi (l : agrega boyu, w : agrega genişliği, t : agrega kalınlığı).

Balast agregasının ölçülmesi ile agregaların küresellik açısından sınıflandırılması mümkün olmaktadır. Bu kapsamda balast agregalarının küresellik katsayısı (ψ) değerleri Janoo (1998) tarafından önerilen Eşitlik 1, Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 kullanılarak belirlenmiştir.

$$\text{Yassılık Oranı, } p = \frac{\text{En Kısa Agregası Boyu, } (l_{\min})}{\text{Ortalama Agregası Boyu, } (l_{\text{ort}})} \quad (1)$$

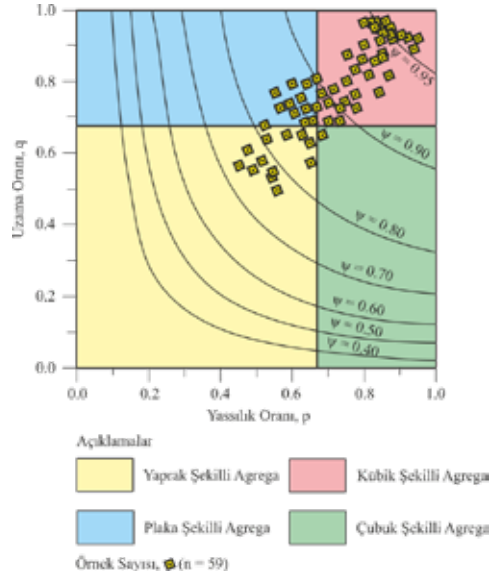
$$\text{Uzama Oranı, } q = \frac{\text{Ortalama Agregası Boyu, } (l_{\text{ort}})}{\text{En Uzun Agregası Boyu, } (l_{\max})} \quad (2)$$

$$\psi = \frac{12.8\sqrt[3]{p^2q}}{1+p(1+q)+6\sqrt{1+p^2(1+q^2)}} \quad (3)$$

Janoo (1998) düzensiz geometrideki agregaları sınıflandırmak için yaptığı çalışmalarda yassılık oranı, uzama oranı ve küresellik katsayısı gibi üç farklı değıştirgeyi kullanmıştır. Buna göre araştırmaçı agregaları bu üç değıştirgeye bağılı olarak, *yaprak şekilli agrega*, *plaka şekilli agrega*, *çubuk şekilli agrega* ve *küçük şekilli agrega* olmak üzere toplam dört sınıfta değeriendirmektedir.

Bu çalışma kapsamında nokta yüğü deneyi yapılan 59 düzensiz geometrideki agreganın küresellik katsayıları $\psi = 0.74 - 0.96$ arasında olup, agregalar çoğunlukla küçük (ana kitlenin yaklaşık %51'i), plaka şekilli (%38'i) ve yaprak şekilli (%11'i) olmak üzere üç sınıfta ifade edilmektedir (Şekil 3). Balast agregalarının nokta yüğü dayanımları Şekil 3'te ifade edilen üç farklı şekilsel özellik dikkate alınarak değeriendirilmiştir.

Janoo (1998) tarafından önerilen küresellik katsayısı ile TS EN 13450'de ifade edilen balast malzemesinde istenen yassılık indeksi değeri (Yassılık indeksi %25'ten az olmalı) karşılaştırıldığında, küresellik katsayısı $\psi \geq 0.70$ olan balast malzemeleri balast teknik şartnamesinde istenen alt sınır değeri ile uyum içinde olduğu balast boyut ölçümleri sonucunda belirlenmiştir.



Şekil 3. Bu Çalışmada Kullanılan Balast Malzemesinin Şekilsel Özelliklerine Göre Sınıflandırılması (Lees 1964; Janoo 1998'den düzenlenerek).

2.2 Düzenli Şekilli Silindirik Örneklerde Eksenel Nokta Yüğü Deneyleri

Farklı düzensiz şekilsel özelliklerdeki balast agregalarından elde edilen nokta yüğü dayanım değeriilerinin, düzenli silindirik örneklerden elde edilen nokta yüğü dayanım değeriileri ile karşılaştırılması, hangi şekilsel özellikteki balast agregalarının nokta yüğü deneylerinde kullanılabilir olduğunu göstermesi açısından oldukça önemlidir. Bu açıdan bazaltik kayalardan NX tip karotiyer (Karotiyer iç çapı = 54 mm) kullanılarak (Şekil 4a) alınan karot numunelerinin istenen geometrik özelliklerde hazırlanması (Şekil 4b ve Şekil 4c) ile düzenli silindirik örneklerde eksenel nokta yüğü deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4f). Silindirik numunelerin elde edilmesiyle aynı zamanda kaya malzemesinin önemli fiziksel özellikleri de belirlenmiştir (Şekil 4d ve Şekil 4e). Yükleme eksenı boyunca yenilen bazı kaya örnekleri Şekil 4f'de görülmektedir. Silindirik ve balast agregalarında gerçekleştirilen deney sonuçlarının karşılaştırmalı analizi Bölüm 3'te "*Deney Bulgularının Değeriendirilmesi*" isimli başlık altında ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 4. Düzenli silindirik örneklerde fiziksel özelliklerin belirlenmesi ve eksenel nokta yükü deneyleri.

2.3Düzensiz Balast Agregalarında Eksenel Nokta Yükü Deneyleri

Küresellik katsayısı kullanılarak sınıflandırılan balast agregaları nokta yükü aletine yerleştirilmeden önce konik başlıklara temas edecek alt ve üst yüzeyler deneyin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için taş motoru ile düzleştirilmiştir (Şekil 5a). Yükleme noktaları düzleştirilen bazı balast agregaları (Şekil 5b) nokta yükü aletine eksenel olarak yerleştirilerek (Şekil 5c) kırılmış ve yenilme yükleri belirlenmiştir. Geçerli sayılabilecek nokta yükü deneyleri numunelerin yükleme eksenli boyunca yenilmesi ve kırılan parçaların nispeten birbirine eş boyutlu olabilmeye bağlıdır (Şekil 5d). Yükleme eksenli boyunca oluşmayan yenilme yüzeyleri geçersiz deney olarak kabul edilmektedir (Şekil 5e).

Nokta yükü deneyleri sonrası balast agregalarında oluşan yenilme yüzeyleri Eşdeğer Karot Çapının (D_e , mm) belirlenmesi için ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Yenilme yüzeylerinin iki parça şeklinde ve parça boyutlarının birbirine nispeten yakın olan (küçük parçanın ağırlığının büyük parça ağırlığına oranı ≥ 0.70 olmalıdır) olması gerekmektedir. Balast agrega yüzeyleri sayısallaştırılarak Eşdeğer Karot Çapı ISRM (1981) tarafından önerilen çapsal, düzensiz örneklerde kullanılan eksenel yaklaşım, Thuro (2010) tarafından önerilen dikdörtgen yaklaşımı ve bu çalışmanın araştırma konusu olan gerçek yüzey alanı yaklaşımlarına göre ayrı ayrı hesaplanmış ve değerler birbirleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. Düzensiz şekilli agregalar üzerinde gerçekleştirilen nokta yükü deneyleri.

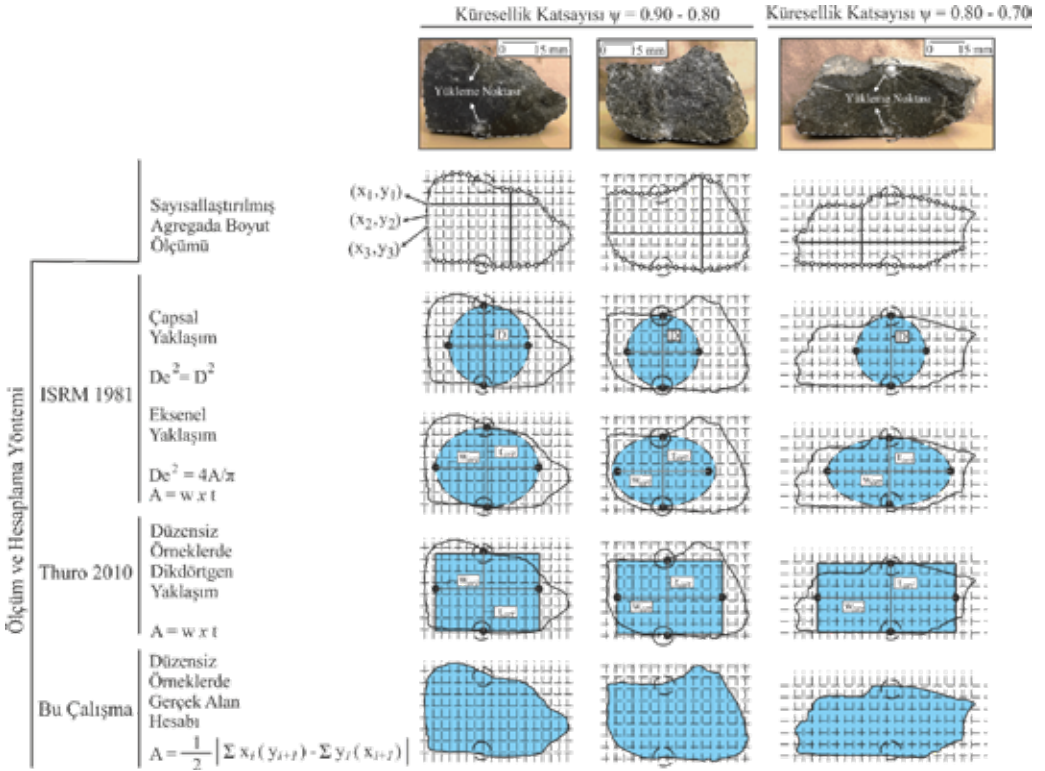
2.4 Balast Agregalarında Eşdeğer Karot Çapının Belirlenmesi

Nokta yükü dayanım deneyinde, konik başlıklar arasındaki numune içinde meydana gelen yük dağılımının ortaya konması ve nokta yükü dayanım değerinin belirlenmesi açısından Eşdeğer Karot Çapı (D_e , mm) oldukça önemli bir kavramdır. Yükleme sonucunda meydana gelen gerilme izini çevreleyen eşdeğer karot çapı çapsal nokta yükü deneyinde numune çapına eşit kabul edilmektedir (ISRM 1981). Aksel nokta yükü deneylerinde ise eşdeğer karot çapı kavramı yükleme eksen hattında koniye benzeyen bir geometridir. Düzensiz geometrideki balast agregalarında ise eşdeğer

karot çapının belirlenmesi numune düzensizliği nedeniyle oldukça güçtür. Numune kalınlığının yatay mesafe ile arttığı düşünüldüğünde (Örneğin plaka şekilli bir agregada) eşdeğer karot çapı yanal olarak şişkin bir koni olarak düşünülebilir. Bu açıdan Thuro (2010) yaptığı çalışmalarda düzensiz örneklerdeki eşdeğer karot çapının gerek hesaplama yöntemine getirdiği kolaylık gerekse sonuçlarının tutarlılığı göz önünde bulundurulduğunda bir dikdörtgen olarak düşünülebileceğini ifade etmiştir.

Bu çalışmada ise düzensiz örneklerde eşdeğer karot çapı, yenilmiş balast agregası yüzeyinin sık noktalar ile tanımlanması hususuyla sayısallaştırılması ve "Poligon Yöntemi" ile gerçek yüzey alanının (A , mm^2) belirlenmesi ilkesi ile araştırılmıştır (Şekil 5). Harita-Kadastro, hidroloji, meteoroloji ve madencilik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan poligon yöntemi hakkında ayrıntılı bilgilere Avustralya Madencilik ve Metalurji Enstitüsü (AIMM) (2001)'den ulaşılabilir. Eşdeğer karot çapının belirlenmesine ilişkin bu çalışmada kullanılan yöntemler toplu olarak Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da farklı

küresellik katsayılarındaki yenilmiş balast agregası yüzeylerinin sayısallaştırılması ve farklı yaklaşımlara göre nokta yükü deneyinde meydana gelen gerilme alanları (Şekil 6 mavi tarama ile gösterilen bölgeler) gösterilmiştir. Farklı yaklaşımlara göre hesaplanan yüzey alanları dikkate alınarak hesaplanan nokta yükü dayanım değerleri birbirleri ve düzenli silindirik örneklerden elde edilen dayanım değerleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. Düzensiz örneklerde eşdeğer karot çapının belirlenmesine ilişkin yaklaşımlar.

3 DENEYSEL BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

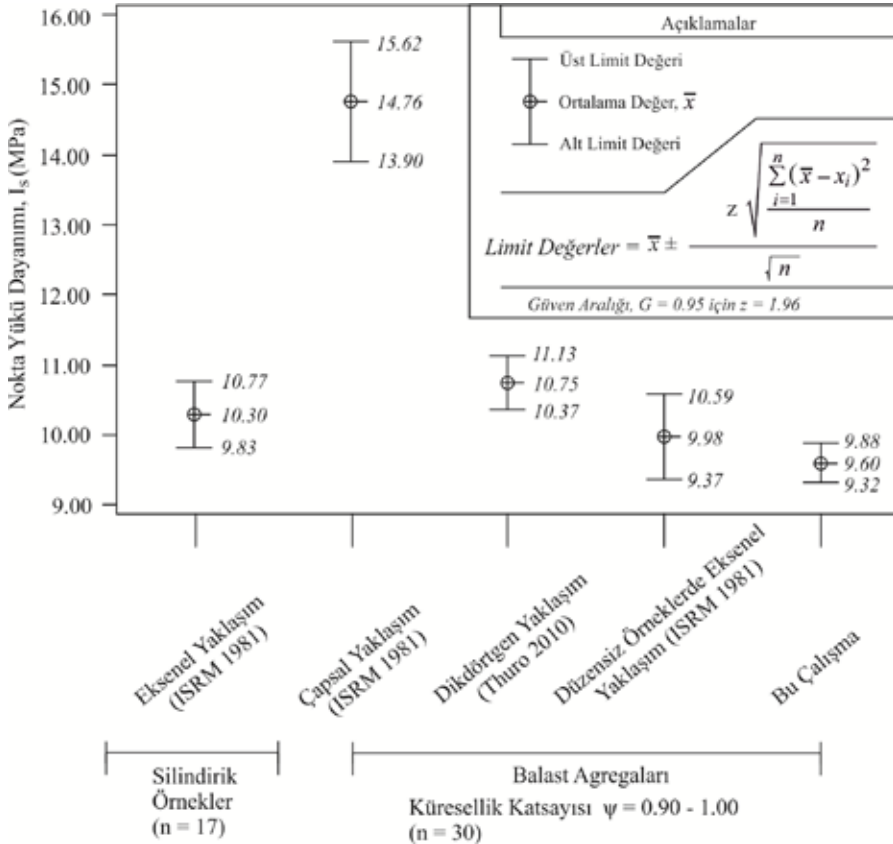
Şekil 7'de ifade edilen farklı yaklaşımlara göre hesaplanan nokta yükü dayanım değerleri kendi aralarında karşılaştırılmış ve çapsal yaklaşıma göre hesaplanan nokta yükü dayanım değerlerinin diğer yaklaşımlardan elde edilen değerlerden yaklaşık %42 oranında daha yüksek olduğu görülmüştür.

Düzensiz örneklerde eksenel yaklaşım, dikdörtgen yaklaşım ve bu çalışmada önerilen gerçek alan yaklaşımından elde edilen değerler karşılaştırıldığında ise birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Düzensiz örneklerde çapsal yaklaşım dışındaki diğer yaklaşımlardan (Şekil 6) elde edilen nokta yükü dayanımı değer aralıklarının düzenli silindirik örneklerden elde edilen eksenel nokta yükü dayanım değer aralığı ile uyumlu olduğu görülmüştür.

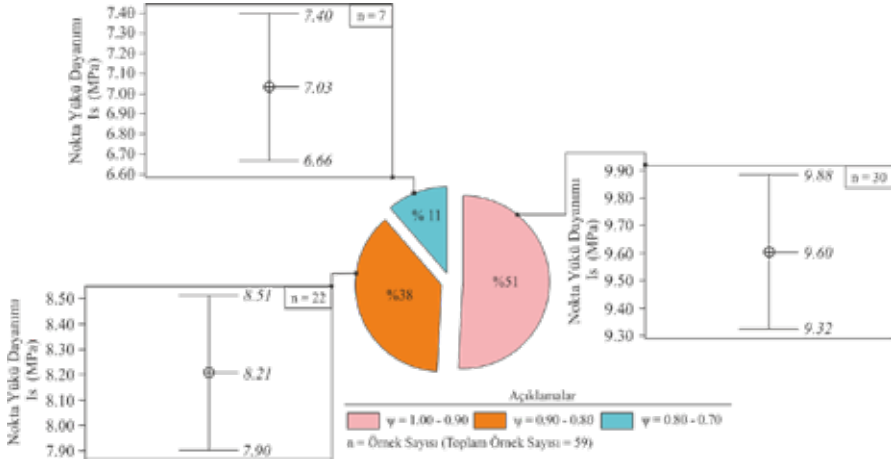
Düzenli silindirik örneklerden elde edilen nokta yüğü dayanım değerleri ile düzensiz şekilli balast agregalarının elde edilen değerler beraber değerlendirildiğinde, düzensiz çapsal yaklaşımın kullanılmaması gerektiği anlaşılmaktadır.

Düzensiz örneklerde gerçek alan yaklaşımından elde edilen nokta yüğü dayanım değerleri düzenli silindirik örneklerdeki eksenel nokta yüğü dayanım değerlerinden %10 kadar daha düşük elde edilmiştir. Sınırlı sayıda deney verilerinden elde edilen bulgulardan düzensiz örneklerde dikdörtgen yaklaşımı (Thuro, 2010) ve eksenel yaklaşımın (ISRM, 1981) daha uyumlu değerler verdiği anlaşılmıştır.

Şekil 7'de küresellik katsayısı $\psi = 0.90-1.00$ olan düzensiz şekilli balast agregalarının nokta yüğü dayanımı %95 güven aralığında $9.30 - 9.80$ MPa, $\psi = 0.90-0.80$ olan balast agregalarında $8.00 - 8.50$ MPa ve $\psi = 0.80-0.70$ olan balast agregalarında ise yaklaşık $6.50 - 7.50$ MPa arasında değerler elde edilmiştir. Şekil 8'den çıkarılacak en önemli bulgular; balast agregasında küresellik katsayısındaki artışın nokta yüğü dayanımı değerinde artışa yol açtığı, düzenli silindirik eksenel nokta yüğü dayanım değerleri ile en uyumlu değerlerin eşdeğer küp şekilli küresellik katsayısına ($\psi = 0.90-1.00$) sahip balast agregaları için elde edildiği, şeklindedir.



Şekil 7 Balast agregasında gerçekleştirilen nokta yüğü deney sonuçları.



Şekil 8 Farklı şekilsel özellikteki balast agregalarından elde edilen nokta yükü dayanım değerleri.

4 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında balast agrega malzemesi dayanımı kestiriminde nokta yükü dayanım indeksi deneyinin kullanımına ilişkin bazı öneriler geliştirilmiştir. Öncelikle nokta yükü dayanım indeksi deneyi hakkında genel bilgiler özetlenmiş ve düzenli/düzensiz şekilli örneklerin sahip olması gereken geometrik koşullar ifade edilmiştir. Çalışmada incelenen bazaltik bileşimli kaya malzemesinin temel fiziksel, mekanik ve agrega özellikleri belirlenmiş ve bu kaya malzemesinin balast agregası açısından uygun olduğu tespit edilmiştir. Düzensiz balast agrega malzemesinde agrega boyutlarının ölçülmesi çeşitli yaklaşımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra farklı şekilsel özelliklere sahip balast agregaları üzerinde nokta yükü dayanım deneyleri gerçekleştirilmiş ve deney sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Düzensiz şekilli balast agregalarında eşdeğer karot çapının belirlenmesi için yeni bir yöntem geliştirilmiş ve çalışmada ifade edilen diğer yöntemlerden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen önemli bulgular aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

a) Düzensiz şekilli örneklerde farklı yaklaşımlara göre hesaplanan nokta yükü dayanım değerleri kendi aralarında karşılaştırıldığında; çapsal yaklaşım ile hesaplanan nokta yükü dayanım değerlerinin diğer yaklaşımlardan

(eksenel, dikdörtgen ve gerçek alan yaklaşımları) elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Düzensiz örneklerde eksenel yaklaşım, dikdörtgen yaklaşım ve bu çalışmada önerilen gerçek alan yaklaşımı kullanılarak elde edilen değerler karşılaştırıldığında ise birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında düzenli silindirik örneklerden elde edilen nokta yükü dayanım değerleri ile düzensiz şekilli balast agregalarından elde edilen değerler beraber değerlendirildiğinde, düzensiz şekilli örneklerde çapsal yaklaşımın kullanılmaması gerektiği anlaşılmıştır.

- b) Düzensiz örneklerde bu çalışmada önerilen gerçek alan yaklaşımından elde edilen nokta yükü dayanım değerleri düzenli silindirik örneklerdeki eksenel nokta yükü dayanım değerlerinden ortalama %10 oranında daha düşüktür. Gerçek alan yaklaşımından elde edilen değerler diğer yaklaşımlara kıyasla daha tutucu özellikte olup, düzensiz örneklerde dikdörtgen yaklaşım ve eksenel yaklaşımın daha uyumlu değerler verdiği anlaşılmıştır.
- c) Balast agregasının şekilsel özellikleri bu çalışmada küresellik katsayısı kavramı kullanılarak ifade edilmiş olup, küresellik katsayısındaki artışın nokta yükü dayanımını üzerine belirgin bir artışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Düzenli silindirik örneklerden elde edilen nokta yükü dayanım değerleri ile düzensiz

şekilli örnekler içinde en uyumlu sonuçları, eşdeğer küp şekilli küresellik katsayısına sahip ($\psi \geq 0.90$) balast agregası malzemesi örnekleri için elde edilmiştir.

- d) Çalışmada belirtilen kullanım önerileri (numune yüzey düzeltmesi, numune boyutlarının ölçümü vb.) dikkate alınarak, balast agregası malzemesi dayanımının yerinde kestirimi için nokta yükü deneyinin kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bildiriye değerli görüş ve önerileri ile katkı veren sayın hakemlere ve numune temini ve diğer konularda desteğini esirgemeyen sayın Ercüment Aydın'a teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

AIMM (2001). Mineral Resource and Ore Reserv Estimation - The AusIMM Guide to Good Practice, ed. (A.C. Edwards), *The Aus. Inst. Min. Met.* 693 p.

Basu A and Kamran M. (2010). Point Load Test on Schistose Rocks and Its Applicability in Predicting Uniaxial Compressive Strength. *Int. J. Rock. Mech Min. Sci.* (47), pp 823–828.

Bieniawski, Z.T. (1975). The Point-Load Test in Geotechnical Practice. *Eng. Geol.*, (9), pp 1 - 11.

Broch., E., and Franklin, J.A., (1972). The Point Load Strength Test. *Int. J. Rock, Mech., Min. Sci. and Geomech. Abst.*, (9), pp 669-697.

Broch, E., (1983). Estimation of Strength Anisotropy Using the Point Load Test, *Int. J. Rock Mech., Min. Sci. and Geomech. Abst.*, (20) pp 45-81.

DDY (2013) Balast Teknik Şartnamesi, Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü 4.Bölge Yol Müdürlüğü, 17s.

Galvan M., Preciado J. and Seron J. (2014). Correlation between The Point Load Index, Is(50) and the Resistance to Unconfined Compression In Limestone from The Comunidad Valenciana-Spain, *Acta Geotech. Slovenica* (11), pp 34 – 45.

Greminger, M., (1982). Experimental Studies of the Influence of Rock Anisotropy on Size and Shape Effects in Point-Load Testing. *Int. J. Rock Mech., Min. Sci. and Geomech. Abst.*, (19), pp 241-246.

Ishibashi K., Zacoeb, A. and Ito Y. (2008). Influence of Coarse Aggregate Size on the Estimation of Compressive Strength of Concrete by Point Load Testing. *J. Str. Mat. in Civ. Eng.*. (24) pp 108-115.

ISRM (1981) ISRM Suggested Methods-Rock Characterization Testing and Monitoring. Brown ET (Ed.), *Pergamon Press*, Oxford, 211 p.

ISRM. (1985) Suggested Method for Determining Point Load Strength. *Int J Rock Mech Min Sci;* (22), pp 51–60.

Janoo V.C. (1998) Quantification of Shape, Angularity, and Surface Texture of Base Course Materials, *US Army Corps of Eng. Special Report*, 29 pp.

Kahraman S. and Gunaydın O. (2007) Empirical Methods to Predict the Abrasion Resistance of Rock Aggregates, *Bull Eng Geol Environ.* (66), pp 449–455.

Lees, G. (1964) The measurement of particle shape and its influence in engineering materials. *J.of British Granite Whinestone Fed., London*, (4) pp 1–22.

Richardson D.N. (1989). Point-Load Test for Estimating Concrete Compressive Strength. *ACI Mat. J.* (86) pp 409-416.

Robins, P.X., (1980). The Point-Load Strength Test for Concrete Cores.. *Mag. Conc. Res.*, (32), pp 101-111.

Thuro K. (2010) Empfehlung Nr. 5 "Punktlastversuche an Gesteinsproben" des Arbeitskreises 3.3 Versuchtechnik Fels der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik, *Bautechnik* (87), Ernst and Sons pp 322 – 330.

TS-699 (2009) Tabii Yapı Taşları: Muayene ve Deney Metotları, 84s.

TE EN 933-2 (1996) Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler Kısım 2: Tane Boyutu Dağılımı Tayini-Deney Elekleri, Elek Göz Açıklıklarını Anma Büyüklükleri, 7s.

TS EN 933-1 (2012) Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler - Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme metodu, 2s.

TS EN 1097-2 (2010) Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini için Metotlar, 29s.

TS EN 1367-2 (2010) Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri için Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, 11s.

TS EN 13450 (2013) Demiryolu Balastları için Agregalar, 38s.

Zacoeb A. and Ishibashi K. (2009) Point Load Test Application For Estimating Compressive Strength Of Concrete Structures From Small Core, *ARPN J. Eng. and App. Sci.* (4), pp 46-57.

Agrega Olarak Kullanılan Bozlutepe (Selki-Hüyük-Konya) Kireçtaşlarının Bazı Jeolojik Özellikleri

Some Geological Properties of Bozlutepe Limestones (Selki-Hüyük-Konya) Used as Aggregate

V. Zedef

Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya.

G. Kansun

Selçuk Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konya.

ÖZET 2011-2016 yılları arasında yerel ihtiyaçlar için agrega üretiminde kullanılan ve coğrafik olarak Konya İli, Hüyük İlçesi Selki Kasabasında bulunan Bozlutepe Kireçtaşları, jeolojik olarak Asmalitepe Formasyonu'na ait dört üyeden biridir. Bu formasyonda aşağıdan yukarıya doğru: 1) Ortaburun Kireçtaşı Üyesi, 2) Bozlutepe Kireçtaşı Üyesi, 3) Kozyaka Kalkışit Üyesi ve 4) Çakmaktepe Kuvarsitli Şist Üyesi yer alır. Formasyonun toplam kalınlığı 2000 m. kadar olup bu çalışmanın konusu olan Bozlutepe Kireçtaşı Üyesinin kalınlığı yaklaşık 200 m'dir. Üyeye ait kireçtaşları mineralojik bileşim, petrografik yapı ve dokusal özelliklerine göre üç çeşittir. Bunlar dolomitik kireçtaşı, kristalize kireçtaşı ve kuvarslı kristalize kireçtaşlarıdır. Yapılan incelemeler göstermektedir ki, Bozlutepe kireçtaşları genel olarak sığ denizel ortamlarda, karbonat fasiyesinde çökelmiş kireçtaşları olup, oluşum yaşları Permian-Karbonifer olarak değerlendirilmiştir. Üyeye ait bu kireçtaşları bugünkü konumlarına gelene kadar büyük oranda muhtemelen düşük dereceli metamorfizmaya uğramışlar daha sonra da bölgesel tektonik hareketler neticesinde kırılıp parçalanarak günümüze kadar gelmişlerdir. Metamorfizma, kireçtaşları üzerindeki ilksel tüm çökel yapıları bozmuştur.

ABSTRACT The Bozlutepe Limestones, geographically located in the town of Selki (Hüyük-Konya), used as aggregates between the years of 2011 and 2016 for local needs is geologically found as a member of the Asmalitepe Formation. The Formation is made of four member, these members are from bottom to top: 1) The Ortaborun Limestone Member, 2) The Bozlutepe Limestone Member, 3) The Kozyaka Calcschist Member and 4) The Çakmaktepe Quartzite-Schist Member. The total thickness of the formation is about 2000 m. The thickness of the Bozlutepe Limestone Member, which is the subject of this study, is approximately 200 m. The limestones belonging to the Bozlutepe Limestone Member have three sort of limestones depending on the mineralogical composition, petrographic structures and textural properties. These are dolomitic limestone, crystalline limestone and quartz-bearing crystallized limestones. The investigations reveal that the Bozlutepe Limestones are formed in carbonate facies of shallow marine environments during Permian-Carboniferous times. These limestones most likely have low-grade metamorphism and gain present day positions under the regional tectonic regime which gave rise the development of extensive joint and fracture systems.

1 GİRİŞ

Kireçtaşları kırmataş (ya da agrega) olarak kullanılan en önemli kayaç gruplarından

biridir. Zira bu kayaç grubu hem kolay bulunmakta ve hem de kolay kırılmaktadır. Kolay bulunmasının en önemli sebeplerinden biri tüm sedimanter kayaçların

yaklaşık % 10'u (hacim olarak) kireçtaşıdır. Bu kayaların çok çeşitli kullanım alanı mevcuttur. En önemli kullanım alanları çimento, yol inşaatları, yapıtaşı ve kireç imalat sanayiidir. Çimento agregası olarak kullanıldığında kireçtaşındaki silis oranı son derece hayati bir rol oynamaktadır (Elçi ve diğ., 2015). Diğer taraftan Alhozaimy (2009), çimentoda kullanılan kireçtaşı agregasının su emme kapasitesinin çimento dayanımını sıkı sıkıya denetlediğini belirtmektedir. Çimentoda kullanılan kireçtaşı agregasının tane boyu küçüldükçe çimentoda gelişen kurumaya bağlı çatlakların da azalması söz konusudur (Aquino ve diğ., 2010). Kireçtaşlarının agrega olarak her türlü amaç için kullanılmasında en büyük dezavantaj her tür aside özellikle de sülfirik aside karşı son derece dayanıksız oluşudur (Chang ve diğ., 2005).

Kireçtaşlarının kolay kırılmalarının nedeni ise yüksek dereceli metamorfik şartlarda bile

Ca-O-C arasındaki bağın çok kuvvetli olmamasıdır.

Bu çalışmanın konusu olan Bozlutepe Kireçtaşları da oldukça parçalı-kırıklı ve dağınık şekilde eklem takımlarına sahiptir. Birim ilk kez Zedef (1987) tarafından adlandırılmış ve Asmalitepe Formasyonu'nun bir üyesi olarak değerlendirilmiştir.

Bozlutepe Kireçtaşı Üyesi coğrafik olarak Konya'nın yaklaşık 80 Km batısında, Hüyük İlçesine bağlı Selki Mahallesi (Eski adıyla Selki Kasabası-Köyü) sınırları içinde yer alan Yazı Mevkii'ne bitişik Bozlu Tepe 'de bulunur (Şekil 1).

Bu çalışmanın asıl amacı yerel agrega ihtiyacının karşılanması için 2011-2016 yılları arasında işletilen Yazı Mevkiinde bulunan Asmalitepe Formasyonuna ait Bozlutepe Kireçtaşlarının bazı mineralojik, petrografik ve jeolojik özelliklerinin ortaya konmasıdır.



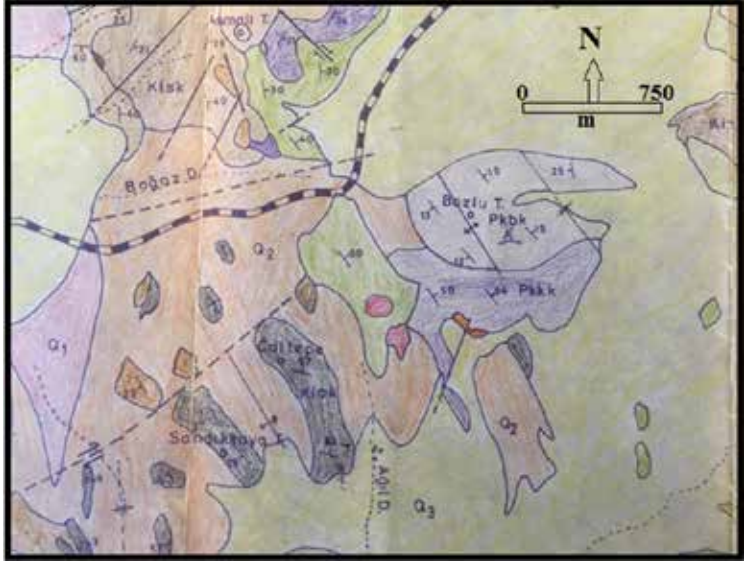
Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.

2 BOZLUTEPE KİREÇTAŞLARI

Asmalitepe Formasyonu Konya İli, Hüyük İlçesi, Selki Mahallesi (Eski adıyla Selki Kasabası-Köyü)'nin kuzey kesimlerinde oldukça geniş alanlar kaplar (Şekil 2).

Zedef (1987) tarafından başlıca rekristalize kireçtaşlarından oluşan birimdeki

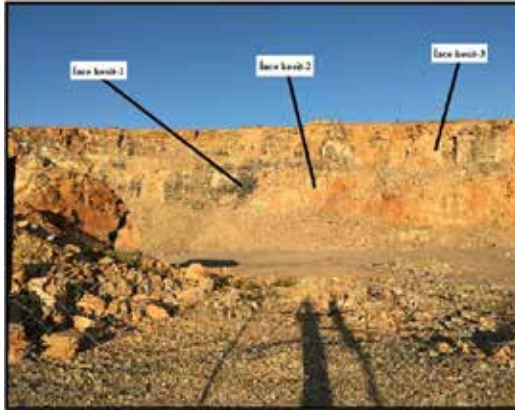
kireçtaşlarının % 95 kalsit ve % 5 kuvarsdan oluştuğu belirtilmekle birlikte, agrega için açılan açık ocakta daha açık gözlemler ve çok daha temsili örnek derlenmesi neticesinde araştırmalar daha da detaylandırılmış ve yeni mineralojik ve petrografik bulgular elde edilmiştir. Bu bulgular aşağıdaki bölümde detaylandırılacaktır.



Şekil 2. İnceleme alanı jeolojik haritası (Zedef, 1987'den alınmıştır). Bozlutepeli Kireçtaşları Bozlu Tepe'de Pkkk simgesiyle açık mavi renkle gösterilmişlerdir. Ölçek 1/25000.

Bozlutepeli Kireçtaşları makro olarak açık gri, rekristalizasyonun şiddetli olduğu yerlerde beyaz ve yer yer de koyu gri-siyah renklidir (Şekil 3). Kireçtaşları yörede yaklaşık 1 Km²'lik bir alan kaplar. Üye yer yer devamlılığı olmayan ince

kalkışit tabakalarıyla ara katlıdır ancak bunlar fazla yaygın değildir. Kireçtaşı tabakalarının kalınlığı (metamorfizmadan kısmen korunabilmiş sınırların gözlenebildiği kadar) genel olarak 10-40 cm arasında değişmektedir.



Şekil 3. Bozlutepeli Kireçtaşlarında agrega tesisi için açılan açık işletme ocağı. Not: Petrografik-mineralojik incelemeler için yapılan ince kesitlerinin alındığı lokasyonlar ayrıca işaretlenmiştir.

Bozlutepe Kireçtaşı Üyesi'nin kalınlığı 150-200 m olarak belirlenmiştir. Birim hem altındaki Kozyaka Kalkışist üyesi hem de üstündeki Ortaburun Kireçtaşı Üyesi ile uyumludur. Birimin stratigrafik konumu Şekil 4'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. İncelemeler sırasında üyeye yaş verebilecek herhangi bir fosil bulunamamış ancak Zedef (1987) birimin stratigrafik konumunu göz önünde bulundurarak üyeye Permo-Karbonifer yaşını vermiştir. Bozlutepe Kireçtaşlarıyla ilgili detaylı bilgi (jeolojik harita ve stratigrafik kesitte kullanılan simge ve işaretlerin anlamları ile birlikte) Zedef (1987)'de bulunabilir.

3 MİNERALOJİ VE PETROGRAFİ

Bozlutepe Kireçtaşları polarizan mikroskopta ayrıntılı olarak incelenmiş ve aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır. İncelenen ince kesitlerin yapıldığı örnek lokasyonları şekil-3'de gösterilmiştir.

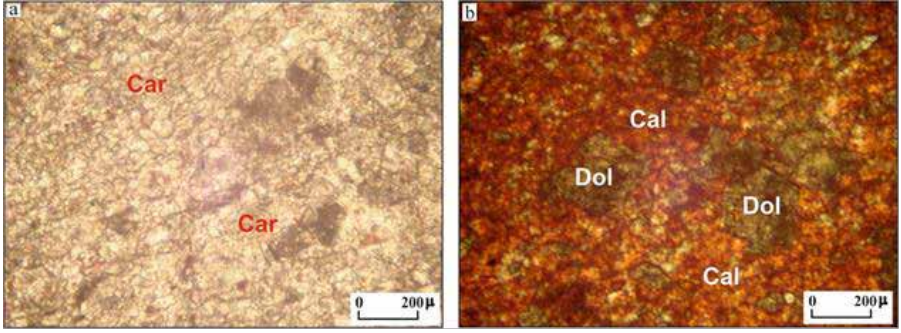
İnce kesit-1

Kayaç ince tanelidir. İçerisinde yer yer iri kristaller gözlenmektedir. Kayaç karbonat

kristallerinden (Şekil 5-a) ve yer yer gözlenen stilolitlerden müteşekkildir. Kayaca uygulanan alizerin testi sonucu, kayaçta ~ % 85 oranında kalsit, ~ % 15 oranında dolomit tespit edilmiştir (Şekil 5-b). Kayaç içerisindeki kalsitler çok yüksek çift kırmalı özşekilsiz kristaller halindedir. Dolomitler ise, yine çok yüksek çift kırmalı olup yarıözşekilli ve özşekilli (genelde romboeder) kristaller halindedir (Şekil 5-b). Kayaçta yer yer bresleşme (kırıklı yapı) izlenir. Kayaç içerisinde bol miktarda damar yapıları gözlenmektedir. Bu damarlarda ikincil kalsit ve kuvars kristalleri yer alır. Mineralojik bileşimi göz önüne alındığında, kayaç “dolomitik kireçtaşı” olarak isimlendirilmiştir. Kayaç ilksel dokusunu çoğunlukla kaybetmiştir. Buna karşılık kayacın çok az bir kısmında mikritik seviyeler gibi ilksel doku özellikleri korunmuştur. Bu özelliklere göre, kayaç ilksel olarak mikritik kireçtaşıdır. Kayaç çok sığ denizel bir ortamda çökelmiştir.



Şekil 4. Bozlutepe Kireçtaşlarının stratigrafik kolon kesiti (Zedef, 1987'den alınmıştır).

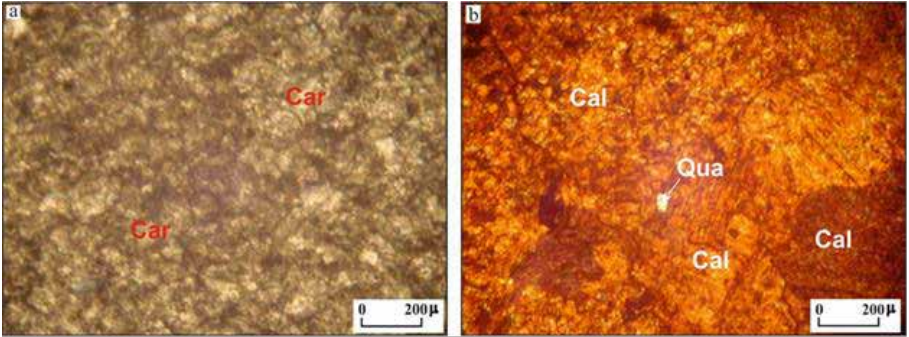


Şekil 5. (a) Bozlutepe Kireçtaşlarına ait ince kesit fotoğrafı. (b) : Kayaca alizerin testinin uygulanmış hal. Car: Karbonat, Dol: Dolomit, Cal: Kalsit (/N).

İnce kesit-2

Kayaç orta tanelidir. Modal analiz sonucuna göre ;~ % 98 oranında karbonat ve ~ % 2 oranında kuvars kristallerinden yapıdır (Şekil 6-a). Kayaca uygulanan alizerin testi sonucu, kayaçtaki karbonat minerallerinin tamamının kalsit kristallerinden oluştuğu görülmüştür (Şekil 6-b). Kalsitler özşekilsiz olup çok yüksek çift kırmaya sahiptir.

Kayaç içerisinde az miktarda, boşluk dolgusu (yama) şeklinde gelişmiş iri taneli ikincil kalsit kristalleri gözlenmektedir. Mineralojik bileşimi göz önüne alındığında, kayaç “kristalize kireçtaşı” olarak isimlendirilmiştir. Kayaç ilksel dokusunu tamamen kaybetmiştir. Kayaç, sığ denizel şartlarda, nispeten derin şelf ortamında çökelmiştir.



Şekil 6a. Bozlutepe Kireçtaşlarına ait mikrofoto. (b) : Aynı kayaca alizerin testinin uygulanmış hali. Car: Karbonat, Qua: Kuvars, Cal: Kalsit (/N).

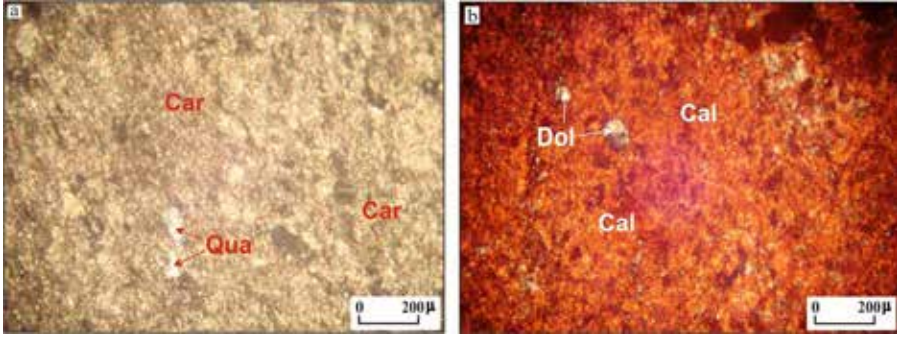
İnce kesit-3

Kayaç ince tanelidir. Modal analiz sonucuna göre; içerisinde ~ % 99 oranında karbonat ve ~ % 1 oranında kuvars kristalleri gözlenir (Şekil 7-a). Kayaca uygulanan alizerin testi sonucu, kayaçtaki karbonat minerallerinin ~

% 97'sinin kalsit, ~ % 2'sinin ise dolomit olduğu görülmektedir (Şekil 7-b). Çok yüksek çift kırmaya sahip bu karbonat minerallerinden, kalsit özşekilsiz kristalleri, dolomit ise yarıözşekilli - özşekilli (romboeder şekilli) kristalleri ile tipiktir.

Mineralojik bileşimi göz önüne alındığında, kayaç “kristalize kireçtaşı” olarak isimlendirilmiştir. Kayaç ilksel dokusunu

tamamen kaybetmiştir. Kayaç, sığ denizel şartlarda, 1 nolu kesite ait kayaca göre biraz daha derin şelf ortamında çökelmiştir.



Şekil 7a. Bozlupe Kireçtaşlarına ait mikrofoto. (b) : Kayaca alizerin testi uygulanmış hal. Car: Karbonat, Qua: Kuvars, Cal: Kalsit, Dol: Dolomit (/N).

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bozlupe Kireçtaşı Üyesi Asmaltepe Formasyonuna ait bir birim olup kayaç esasen rekristalize olmuş kireçtaşlarıyla temsil edilmektedir. Kayaç çoğunlukla kalsit ve dolomitten meydana gelmiş olup yer yer de kuvars minerali içermektedir.

Kayaçın geçirdiği metamorfizma muhtemelen yaygın bir rekristalizasyona sebep olmuş, bu esnada da ilksel dokuların büyük bir kısmı kaybolmuştur.

Üyeye ait kireçtaşları bol kırıklı, çatlaklı ve mükemmel gelişmiş eklem takımları ile agregada değerlendirilmeye son derece uygundur. En önemli dezavantajları ise rezervlerinin çok az olmasıdır (yaklaşık 1 km²'lik alan ve 150-200 m kalınlık).

KAYNAKLAR

- Alhozaimy, M. A., 2009, Effect of absorption of limestone aggregates on strength and slump loss of concrete: *Cement and Concrete Composites*, 31 (7), 470-473.
- Aquino, C., Inoue, M., Miura, H., Mizuta, M., ve Okamoto, T., 2010, The effects of limestone aggregate on concrete properties: *Construction and Building Materials*, 24(12): 236 3-236.

- Chang, Z. T., Song, X. J., Munn, R. ve Marosszeky, M., 2005, Using limestone aggregates and different cements for enhancing resistance of concrete to sulphuric attack: *Cement and Concrete Research*, 35, 1486-1494.
- Elçi, E., Türk, N. ve İşintek, I., 2015, Limestone dimension stone quarry waste properties for concrete in Western Turkey: *Arabian J. of Geosciences*, 8 (10), 8951-8961.
- Zedef, V., 1987, *Selki-İmrenler-Çamlıca (Beşşehir) yöresinin jeolojisi, kil ve demir zuhurları*: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), 70s.

Kırmataş Ocaklarının Kazı ve Teknolojisi
(Excavation and Technology in Aggregate Production)

Sivas-Ulaş Yöresindeki Bir Kırmataş Ocağına Uygulanan Süreç İyileştirme Çalışmalarının Patlatma Maliyetine Etkisinin Araştırılması

Investigation of the Effect of Process Improvement Studies on Cost of Blasting Applied in a Quarry in Sivas-Ulaş District

S. Ercins,

Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas MYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Blm., Sivas

H. Akçakoca,

Dumlupınar Üniversitesi., Müh. Fak., Maden Müh. Blm., Kütahya

ÖZET Bu çalışmada bir kırmataş ocağında önceden uygulanan ve artık günümüzde kullanımı kalmayan “galeri atımı” yönteminin beraberinde getirdiği sorunların giderilmesine yönelik yapılan bazı süreç iyileştirme çalışmaları anlatılmıştır. En başta söz konusu taşocağında çevreye duyarlı ve maliyeti düşüren üretim sisteminin detayları belirlenerek, süreç aşamalarının incelenmesi hedeflenmiştir. Birinci aşamada; galeri atımından vazgeçip, basamak patlatması ile üretimin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. İkinci aşamada ise; patlatmalardan kaynaklanan titreşim, gürültü, toz oluşumu ve kaya fırlaması gibi faktörleri kabul edilebilir seviyeye getirecek bir delme-patlatma tasarımı yapılması öngörülmüş ve uygulanmıştır. Bu çalışmalar 2012- 2015 yılları arasında tüm sahada uygulanmıştır. Kırmataş ocağına uygulanan çalışmaların öncesi ve sonrasındaki üretim ve patlatma maliyetleri hem aylık hem de yıllık bazda irdelenmiştir. Bu süre zarfında uygulama sonuçları gözlemlendiğinde, yeni yöntem ile çevreye daha duyarlı bir üretim yönteminin sağlandığı gözlenmiştir. Ayrıca işletmenin üretim ve verimliliğinin artarak, hem kırmataşın birim maliyetinde hem de genel üretim maliyetlerinde büyük bir düşüş olduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Taşocağı, basamak patlatması, galeri atımı, süreç iyileştirme, kırmataş

ABSTRACT In this study, previously applied and no longer remain in use today in a quarry "Gallery blasting" method of some process improvements made for the solution of problems brought about is explained. At first, determining the production of environmentally friendly and cost reducing system details are aimed at examining the process stage. In the first stage; give up the gallery blasting, it was decided to carry out production with bench blasting step. In the second stage; drilling and blasting have been envisaged and implemented to bring to an acceptable level factors such as vibrations caused by blasting, noise, dust and flying rock. This work was performed in all fields between 2012- 2015 year. Before and after implementation of the work on the production and blasting costs were examined in both monthly and annual basis in the quarry. During this period when application results investigated, it was observed that the more environmentally friendly production was provided by the new method. In addition, the company increased production and productivity were seen in both the crushed the unit cost which is a big drop in overall production costs.

KEY WORDS: Quarry, bench blasting, gallery blasting, proses improvement, quarry stone

1 GİRİŞ

Süreç iyileştirme; üretilen ve insanlığın hizmetine sunulan her ürün ve hizmetin, sunulma amacına uygun olup olmama durumuna göre nasıl bir etki bıraktığının takibi ve varsa eksik yanların geliştirilmesi için yapılan faaliyetler bütünüdür. Süreçlerin sürekli izlenmesi ve geliştirilmesi için, her gün gelişen ve kendini sürekli yenileyen teknolojiye ayak uydurmak ve onun getirdiklerini çalışmalarımıza uygulamamız gerekmektedir. Özellikle üretim ve hizmet sektöründeki teknolojik ilerlemeler ve artan rekabet koşulları karşısında firmaların pazar paylarını artırmak için uyguladıkları stratejik planların tümü süreç iyileştirmenin bir parçasıdır. Bunu gereken yerde ve zamanda en iyi şekilde yapan firmalar kurumsallaşma ve iş organizasyonu açısından kendilerini diğer rakipleri karşısında bir adım öne geçirmekte ve yapmış oldukları üretimleri insanlığın hizmetine daha etkin ve en az sorunla sunmaktadırlar (1).

Süreç iyileştirme, işletmelerin iş süreçlerinin ve organizasyonel yapılarının, yapılacak olan inceleme ve analizler sonucunda uygulanacak olan belirli yöntemler ile çevrim süresini azaltmak, maliyetleri düşürmek, kalite ve iş performanslarında artış sağlamak amacı ile yapılan, müşteri beklentilerini en üst düzeyde karşılamayı hedefleyen çalışmalardır.

Süreç iyileştirme, sürecin performans seviyesinin artırılmasıdır. Süreç performansı, sürecin kaynaklarının optimum şekilde kullanılması ve bunun takibi şeklinde tanımlanabilir. Yapılan iyileştirmelerin ardından sürecin performansı arttıkça yeniden işleme ve israf azalacağı için süreç daha hızlı işleyecek ve çevrim süresi kısalmaktadır. Diğer bir değişle süreç iyileştirme iş akışında katma değer yaratmayan adımların ortadan kaldırılmasıdır (2).

Süreçlerin iyileştirilmesinde aşağıdaki kriterler ön planda tutulur;

- a) Müşteri odaklılık
- b) Zamana ve gelişmelere tam uyum
- c) Daha hızlı ve verimli çalışma
- d) Kaynakların etkili kullanımı
- e) Çalışanların organizasyon içindeki katkılarının artması
- f) Yüksek kaliteli ürün ve hizmetlerin sunulması
- g) Maliyetlerin azaltılıp gelirlerin yükseltilmesi
- h) Sürekli gelişme ve iyileştirme (3).

Süreç iyileştirme çalışmaları ve bu çalışmaların uygulanması birçok sektörde olduğu gibi madencilik sektöründe de yenilik, plan, titizlik ve beceriyi birlikte harmanlayarak yapılmasını gerektirmektedir.

Açık ocaklarda; özellikle delme patlatma, yükleme, taşıma-dökme ile kırma eleme uygulamaları toplam üretim maliyetlerinin ana kalemlerini oluşturmaktadır. Özellikle delme patlatma, üretim verimliliğini ve maliyetleri etkileyen en önemli alt süreçtir.

Bu uygulama çalışmasında; Sivas yöresindeki bir kırmataş ocağının, basamak oluşturulmadan çalışılan dönemlerle, basamak oluşturulduktan sonraki döneme ait maliyet analizleri ve basamak oluşturulduktan sonra ürünün birim maliyeti ile patlatma birim maliyetinde meydana gelen değişim, nedenleri ile birlikte karşılaştırmalı olarak süreç iyileştirme yaklaşımıyla irdelenmiştir.

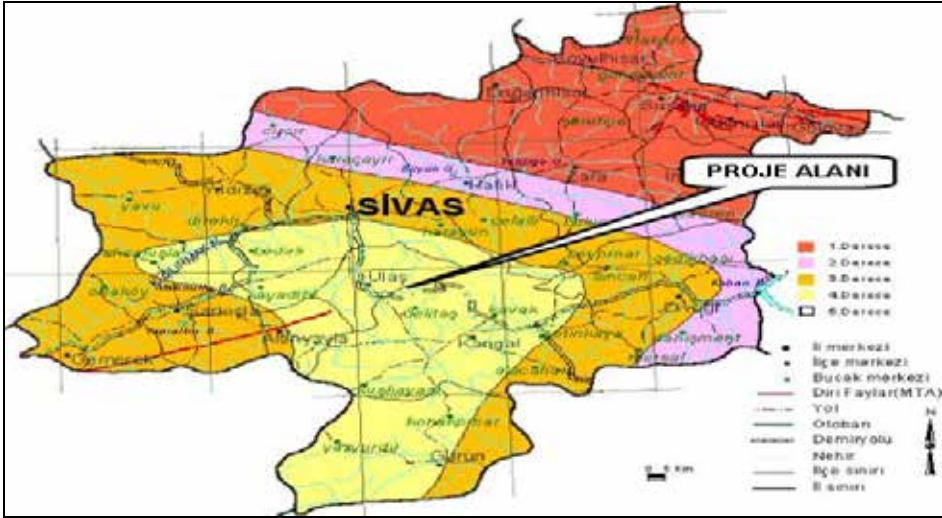
2 KIRMATAŞ OCAĞI HAKKINDA BİLGİLER

Ülkemizde kırmataş olarak kullanılabilecek rezervler oldukça fazladır. Beton ve asfalt gibi inşaat sektörünün vazgeçilemez ürünlerinin üretiminde kullanılan kum, çakıl ve kırmataş agregaları toplam ürünün büyük bir hacmini oluşturmaktadır. Dünya genelinde agrega

üretimi % 58'lik payla tüm maden üretimi içinde birinci sıradadır (4).

Ayrıca agrega, üretiminde çok az enerji gerektirmesi özelliğinden dolayı özellikle de inşaat sektörünün vazgeçilmez malzemesidir (5).

Sivas merkeze 40 km mesafede bulunan ve özel bir firmaya ait olan kırmataş ocağı (Şekil-1), kalker sahası olarak tanımlanmakta ve üretilen farklı boyutlardaki malzemeler gerek hazır beton gerekse yol ve asfalt yapımında kullanılmaktadır.



Şekil-1: Yer bulduru haritası

Ruhsat alanı içinde Tecer netritik kireç taşlarının mostra verdiği gözlenmiştir. Tecer kireçtaşı; gri, kurşuni, siyahımsı renkli, orta-kalın tabakalı, eklemlili, erime boşluklu, mikritik dokulu, yer yer algli ve kavkı kırıntılı olup, kalınlığı 50 cm. ile 750 m. arasında değişmektedir (6).

1988'de yapılan çalışmalara göre birimden derlenen örneklerde Laffiteina bibensis Cuneo/ina sp., Dycye/ina sp., Alveo/ina sp., Valvu/ammina sp., Laffiteina sp., Dasyc/adaceae fosilleri saptanmıştır. Birimin Üst Kretase-Paleosen zaman aralığında çökeldiğini belirlenmiştir (7).

Alanın güneyinde ise kuvaterner yaşlı yamaç molazu ve pliyosen yaşlı konglomera kumtaşı-çamurtaşı ve oligosen-miyosen yaşlı kumtaşı-çamurtaşı yüzlek vermiştir. (6)

3 BASAMAK SİSTEMİ ÖNCESİ İŞLETMEDE UYGULANAN ÜRETİM METODU

Kırmataş ocağında, şu anki ruhsat sahibinden önceki dönemlerde patlatma uygulamaları "galeri atımı" diye nitelendirilen yöntemle yapılmıştır. Hatta ocakta önceki dönemlerde açılmış ancak patlatılmamış bir "galeri" halen bulunmakta olup (Şekil-2), ölçüleri ve yapısı galeri içine girilerek incelenmiştir. Bu yöntem ile ocak zemininde kayaç içerisine doğru yüksekliği 70-85 cm ve genişliği 50-60 cm olan, 10-11 m uzunluğunda bir galeri ve bu galerinin başlangıcından 6-7 m sonrasında "Y" şeklinde 3'er 4'er metre kollara ayrılan yatay galeriler şeklinde açılan boşluklar belirlenmiştir. Açılan bu boşluklar patlayıcı madde ile doldurulduktan sonra patlatılmaktaydı.



Şekil-2: Galerinin atımı için açılmış olan boşluk

Bu şekilde çok kez yapılan galeri patlatmaları, kayanın içerisinde istenmeyen çatlaklara neden olmuştur. Ayrıca bu çatlaklar neredeyse ocağın zirve noktalarına kadar ilerlemiş ve ocakta daha sonra da bahsedeceğimiz pek çok güç duruma sebep olmuştur. Halen ocak ve çevresinde bu yöntemin yol açtığı olumsuzluklar gözlemlenmekle birlikte, kayanın içerisinde de derin çatlaklar ve düzensizlikler bulunmaktadır. Bu düzensizlik ve çatlaklar yeni çalışma düzeninde delme makinesinin tijini bazen sıkıştırarak makineyi zor durumda bırakmakta ayrıca patlayıcıların deliklere doldurulması esnasında, özellikle anfonun çatlaklardan sızarak, dipteki boşluklara dökülmesine ve delinen deliğin patlayıcı ile doldurulmamasına sebep olmaktadır.

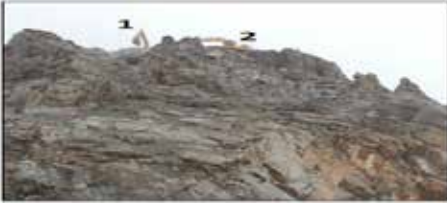
Ayrıca kayanın içerisinde oluşmuş bu çatlak ve boşluklar, patlatma esnasında yer sarsıntısı, hava şoku, kayanın fırlaması gibi çevresel etkilerin etkisini de artırmaktadır. Bu etkilerin dışında işletmede her patlatma sonrasında iri boyutlu malzeme çıkması ve hidrolik kırıcılarla kırılarak boyutlandırılması fazladan maliyete yol açmaktadır.

Süreç iyileştirme çalışmaları öncesinde, ocak zirvesinde yapılan patlatmalar sonrasında açığa çıkan malzeme, 2 operatör ve bir bekçiden oluşan ve konkasörün çalışmayıp sadece operatörlerin öteleme işini yaptığı gece vardiyasında ekskavatör operatörleri tarafından yaklaşık 50-60 metre aşağıdaki ocak zeminine ötelenmiştir. (Şekil-3)



Şekil-3: 1 ve 2'de ocağın zirve noktasında yapılan patlatma, 3'de ise ekskavatörün alana gelmesi

Ötelenen malzemenin neredeyse % 20-25'i aktarma sonrasında yamaçlarda askıda kalmış (Şekil-5), ayrıca gündüz vardiyasındaki yükleme işini de gece vardiyasında ocak zirvesinde öteleme için çalışan ekskavatörler tekrar aşağı inerek yapmışlardır (Şekil-4). Ocakta zeminden zirveye olan mesafeyi ekskavatörlerin neredeyse her gün inip çıkmaları yakıt sarfiyatı anlamında oldukça maliyetli olmakla birlikte makinelerin yıpranmalarını da artırmıştır.



Şekil-4: 1 ve 2'de patlatılan malzemeyi öteleyen ekskavatörler Şekil-5: 3'de Öteleme sonrası yamaçta kalan malzeme

Sonuçta patlatılan malzemenin tamamından yararlanılamamış olmakla birlikte, ötelenip, yüklenip, konkasörde kırılan malzemenin fiyatının belirlenmesinde fazladan maliyetlerin oluşması söz konusu olmuştur. Ekskavatörlerin gece patlatma bölgesine gidip gündüz tekrar yükleme bölgesine inmeleri için harcadıkları mazot, makinelerin amortisman miktarındaki artış, patlatma veriminin az olması, patlatılan malzemedeki kayıplar, delik geometrisinin bilinçsizce uygulanması, zaman kayıpları v.b. birçok etken, ürünün birim maliyetini arttırmıştır. Ayrıca gece yapılan bu öteleme işi, iş sağlığı ve güvenliği açısından da oldukça risk teşkil etmiş ve sadece makine ışığının aydınlatması ile yeterli görüş alanı sağlanamayan ocakta, operatörler hem verimsiz çalışmışlar hemde patlatılan malzemenin tamamını öteleyememişlerdir. Gündüz vardiyasında konkasörde kırılmak üzere kamyonlara yüklenen malzeme, sadece ekskavatör operatörlerinin gece vardiyasındaki performanslarına bağlı olup, verimsiz geçen gece vardiyası sonrasındaki bazı günlerde konkasöre yeterli malzeme gelememesinden dolayı erken paydoslara bile sebep olmuştur.

Süreç iyileştirme çalışmaları öncesinde ocaktaki yanlış uygulamalar maliyeti oldukça olumsuz etkilemiş ve özellikle ay bazındaki üretimlerin patlatma birim maliyetlerinde artışlar gözlemlenmiştir.

Çizelge-1'de basamak oluşturulmadan çalışılan döneme ait verileri içeren patlatma maliyeti görülmektedir.

Çizelge-1: 2012 yılına ait patlatma maliyetleri

2012 Yılı Patlatma Maliyeti (TL/ ton)				
Aylar	2012 Üretim (Ton/ay)	Anfo (Kg)	Patlatma Maliyeti (TL)	Patlatma Birim Maliyeti (TL/ton)
Ocak	0	0	0	0,00
Şubat	0	0	0	0,00
Mart	25622	4000	11015	0,35
Nisan	32010	8100	21502	0,55
Mayıs	36877	15250	40559	0,90
Haziran	44889	15250	39292	0,72
Temmuz	61252	16800	41638	0,56
Ağustos	56024	10975	27127	0,40
Eylül	59411	16100	41139	0,57
Ekim	47899	14300	35317	0,60
Kasım	42877	18150	43821	0,84
Aralık	4850	3500	8664	1,46
TOPLAM	411711	122425	310073	0,62

Patlatma birim maliyeti hesaplanırken; patlatma maliyetinin %18'i çıkarılmış ve bu değer aylık üretime oranlanmıştır.

4 İŞLETMEDEKİ SÜREÇ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

Süreç iyileştirme çalışmalarında, maliyeti düşürmek ve katma değer sağlamak için; kaynak kullanımında tasarruf, verimlilik, etkenlik, satın alma maliyetlerinin düşürülmesi ve tedarikçi seçme ve değerlendirme gibi kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.

İşletmedeki çalışmalar daha öncesinde mühendis olmadan ustabaşı tarafından



Şekil-6: Ocakta basamak oluşturma çalışmaları

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 (8). Bu maliyetlerin düşürülmesi süreç iyileştirme çalışmalarında öncelikli konu olmuş ve uygulamalara bu konudan başlanmıştır. Uzun vadede ocağın batı yönünden başlayan basamakların, kuzey yönünde yeni açılacak ocak basamakları ile birleştirilmesi ve bu basamakların birbiri ile bağlantılı olarak ocağın zirvesinden zeminine kadar kamyonların malzeme naklini yapabilmesi için uygun hale getirilmesi planlanmıştır. Ocağa tecrübeli bir maden mühendisi alınıp iyileştirme çalışmaları başlamış ve iyileştirilmesi gereken her konu değerlendirilmiştir. Öncelikle işletmede delme-patlatma işlemleri sonrasında açığa çıkan yığının ötelenmesinden kaynaklanan ekstra maliyetlerin bertaraf edilmesi için ve yığının tek seferde kaldırılması için 2013 yılı başından itibaren basamak oluşturma çalışmalarına başlanmıştır (Şekil-6).

Patlatma uygulamaları bu hedef doğrultusunda yapılmış ve delinecek delikler için delik çapı 89 mm olarak belirlenmiştir. Bundan sonra temel delme patlatma parametreleri olan dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, toplam delik boyu, sıkılama miktarı, taban payı, patlayıcı madde miktarı ve basamak yüksekliği İsveç'te başlatılan Langefors (1979) yaklaşımı ile belirlenmiştir (9). Ayrıca arazide şerşerş delik düzeni uygulaması yapılarak, basamak şev açılarının $75-80^{\circ}$, ve basamak genişliğinin 6-8 m arasında olmasına dikkat edilmiştir. Bu verilerle ocağa ait bazı değerler Çizelge-2'deki gibi belirlenmiştir.

Çizelge2. Önerilen delik geometrisi

Patlatma Tasarım Parametreleri	Boyut
Delik çapı (mm)	89
Basamak yüksekliği (m)	10
Delik açısı değeri ($^{\circ}$)	76
Dilim kalınlığı (m)	2,5
Dip delği (m)	0,5
Delikler arası mesafe (m)	3
Ortalama delik boyu (m)	10,5
Dip şarj uzunluğu (m)	3,5
Dip şarj miktarı (kg)	18
Kolon şarj uzunluğu (m)	4,5
Kolon şarj miktarı (kg)	22
Sıkılama boyu (m)	3
Bir delik içindeki toplam şarj (kg)	40
Özgül delik (m^3)	0,111
Özgül şarj (m^3)	0,440

Genel ocak eğimi ise;

$$\tan \alpha = \frac{h}{\frac{h}{\tan \beta} + b}$$

Burada;

α : Ocağın genel eğim açısı,

β : Basamak eğim açısı,

h: Basamak yüksekliği,

b: Basamak genişliği,

olarak tanımlanmaktadır (10).

$$\tan \alpha = \frac{10}{\frac{10}{\tan 76} + 6,5} \quad \alpha = 48,1^\circ$$

bu değer yaklaşık 50° olarak belirlenmiştir.

Ocaktaki formasyonun galeri atımından kaynaklanan çatlaklı yapısı göz önüne alındığında ve Çizelge-2'deki hesaplanan değerler tecrübe ile harmanlanarak basamak geometrisi için ortalama değerler belirlenmiştir.

Bu çalışmalara ek olarak bir yandan basamak oluşturma çalışmaları devam ederken bir yandan da şantiye içerisinde hem yeni oluşturulan basamaklara hem de konkasöre, yeni ve kısa bağlantı yolları oluşturulmaya başlanmıştır.

Basamaklar arası bağlantı yolları özellikle ekskavatörlerin yürüme mesafelerini oldukça azaltmış ve yakıt sarfiyatı da buna bağlı olarak düşmüştür. Ayrıca konkasöre malzeme boşaltmak için kamyonların kullandığı manevra alanı, araçların rahat hareket edebilmeleri için yol malzemesi ile Şekil-9'da; 2'de ekskavatör patlatılmış malzemeyi 3 ve 4'deki kamyonlara yüklerken, 1'deki delici bir üst basamağın deliklerini delmektedir.

doldurularak genişletilmiş ve böylece lastiklerin daha az aşınmaları sağlanmıştır.

Aşağıdaki resimlerde basamak oluşturma çalışmaları aşama aşama verilmiştir. (Şekil-7, Şekil-8)



Şekil-7: 1 ve 2'de ekskavatörler, 3'de ise delici makine



Şekil-8: 1'de ekskavatörün basamak oluşturma çalışmaları



Şekil-10'da ise düzenlemesi devam eden basamak düzlemi görülmektedir.



Şekil-10: Basamakların durumu

Süreç iyileştirme çalışmaları boyunca basamakların düzenlenmesi, bağlantı yollarının yapılması, delik geometrilerinin düzenlenmesi, ocak içindeki makine ekipmanların çalışma alanlarının iyileştirilmesi v.b. yapılan pek çok düzenleme, özellikle maliyet konusunda olumlu etkiler yaratmıştır. Özellikle patlatma maliyetlerinde eskiye nazaran aylık ve yıllık bazda gözlemlenen önemli düşüşler uç ürünün birim maliyetini de etkilemiş ve işletme, artık rakipleri ile rekabette oldukça önemli bir konuma gelmiştir.

Çizelge-3, Çizelge-4 ve Çizelge-5'de, 2013 yılında başlayan basamak oluşturma çalışmalarının ve süreç iyileştirmelerin

patlatma maliyetine olan önemli etkileri görülmektedir.

Çizelge-3: 2013 yılına ait patlatma maliyetleri

2013 Yılı Patlatma Maliyeti (TL/ ton)				
Aylar	2013 Üretim (Ton/ay)	Anfo (Kg)	Patlatma Maliyeti (TL)	Patlatma Birim Maliyeti (TL/ton)
Ocak	104	150	687	5,40
Şubat	8452	7360	20484	1,99
Mart	45232	5950	14849	0,27
Nisan	50734	16425	42439	0,69
Mayıs	58890	14525	36223	0,50
Haziran	83334	7000	17502	0,17

Temmuz	114358	1640	41632	0,30
Ağustos	88865	12600	31826	0,29
Eylül	112642	22850	56426	0,41
Ekim	84800	18500	46333	0,45
Kasım	86261	17500	44763	0,43
Aralık	16877	4700	11397	0,55
TOPLAM	750550	143960	364562	0,40

Süreç iyileştirme çalışmaları ile 2013 yılı sonunda ocak dizaynı düzenlenmeye başlanmış ve gerek üretim gerekse patlatma kaynaklı birim maliyette ortalama 0,62 TL/ton'dan ortalama 0,40 TL/ton'a gerilemiştir.

Çizelge-4: 2014 yılına ait patlatma maliyetleri

2014 Yılı Patlatma Maliyeti (TL/ ton)				
Aylar	2014 Üretim (Ton/ay)	Anfo (Kg)	Patlatma Maliyeti (TL)	Patlatma Birim Maliyeti (TL/ton)
Ocak	6439	12400	31543	4,02
Şubat	27049	9300	24404	0,74
Mart	28022	10700	26890	0,79
Nisan	55043	10400	25695	0,38
Mayıs	97464	13150	32528	0,27
Haziran	104464	8300	21135	0,17
Temmuz	83381	8000	19067	0,19
Ağustos	71880	8025	18240	0,21
Eylül	56551	7250	17013	0,25
Ekim	40584	2800	6906	0,14
Kasım	61283	10600	26325	0,35
Aralık	34802	8800	21507	0,51
TOPLAM	666962	109725	271253	0,33

2014 yılsonu itibariyle ocakta basamakların ve nakliye yollarının düzeni, daha da iyi sağlandığı için yıllık patlatma birim maliyeti ortalaması 0,33 TL/ton'a düşmüştür.

Çizelge-5: 2015 yılına ait patlatma maliyetleri

2015 Yılı Patlatma Maliyeti (TL/ ton)				
Aylar	2015 Üretim (Ton/ay)	Anfo (Kg)	Patlatma Maliyeti (TL)	Patlatma Birim Maliyeti (TL/ton)
Ocak	9530	0	0	0,00
Şubat	9737	0	0	0,00
Mart	35426	2000	4653	0,11
Nisan	55607	16375	38925	0,57
Mayıs	58081	17800	44548	0,63
Haziran	94349	22000	53202	0,46

Temmuz	61342	7950	19121	0,26
Ağustos	88645	9500	23396	0,22
Eylül	93337	7850	21166	0,19
Ekim	87737	12150	32817	0,31
Kasım	94913	12500	33251	0,29
Aralık	58619	7400	20265	0,28
TOPLAM	747323	115525	291344	0,32

2015 yılı sonunda ise, süreç iyileştirme çalışmaları sonrasında ocak dizaynı (ocak içi ulaşım yolları ve basamaklar) daha da iyileştirildiği için patlatma birim maliyeti yıllık ortalaması biraz daha (0,32 TL/ton) düşmüştür. Ocak ve şubat aylarında iklimsel nedenlerden dolayı patlatma yapılamamış olup bu durum patlatma birim maliyetini aşırı bir şekilde etkilememiştir.

2012-2015 yıllarına ait patlatma birim maliyetlerinin varyans ve standart sapma değerleri aşağıdaki Çizelge-6'da belirtilmiştir.

Çizelge-6: 2012-2015 yıllarına ait hesaplanan değerler

	2012	2013	2014	2015
Ort. Pat. Birim Maliyet(TL/ton)	0,5792	0,9542	0,6683	0,2766
Varyans	0,1436	2,0045	1,0636	0,0364
Standart sapma	0,3790	1,4158	1,0313	0,1909

Çizelge-6 incelendiğinde 2015 yılına ait olan standart varyans ve sapma değerleri en düşük değer olduğu için diğer yıllardaki değerlere göre daha tutarlı olduğu (maliyet değerlerindeki değişimin daha düşük seviyede olduğu) söylenebilir.

Delme patlatma uygulamalarında sürecin performans düzeyinin artırılması ve yukarıda bahsedildiği gibi planlamaların önceden tanımlanmış olan amaçlarına ulaşması için tahsis edilen kaynakların en iyi şekilde kullanma düzeyinde olması gerekmektedir.

Delme patlatma konusunda süreç iyileştirme çalışmaları yapılırken öncelikle sürecin maliyetini artıracak ve sürece zarar verecek durumlardan kaçınılması gerekmektedir. Çünkü delme patlatma uygulamaları bir işletmenin yıllık giderlerinin yaklaşık %20-30'unu oluşturmaktadır. Bunların içinde temel işçilik giderleri, malzeme-ekipman giderleri ve zaman giderleri mevcuttur. Süreç iyileştirme; bu giderlerin, sürecin performans düzeyini artırması ve maliyetlerin nasıl düşürülmesi gerektiği konusunda yapılan iyileştirme ya da geliştirmelerin planlanması ve uygulamaya geçirilmesi, süreçlerin güncelliğinin sağlanması, etkinliğinin artırılması ve gelişen yeni sistemlerin uygulanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Kurumsallaşma ve daha kaliteli şirket olma yolunda ilerleyen firmaların performans ve verimliliğinin ölçülmesi, bu ölçümlerin sayısallaştırılıp anlamlı veriler haline dönüştürülmesi ve artan rekabet koşulları altında kendilerini bir adım öne taşımaları adına süreç iyileştirme çalışmalarının uygulanması oldukça önemlidir. Madenciliğin vazgeçilmez uygulaması olan delme patlatma, süreç iyileştirme çalışmaları sonucunda hedeflenen ve daha ekonomik uygulanması açısından, hem maliyeti düşürmek hemde katma değer sağlamak adına oldukça önem arz etmektedir.

Basamak oluşturma ve kırmataş ocağında yapılan ve halen devam eden süreç iyileştirme çalışmaları yukarıdaki çizelgelerden de anlaşılacağı üzere oldukça etkin ve verimli olmuştur. Basamak oluşturulmadan çalışılan dönemde patlatma birim maliyeti ortalama 0,62 TL/ton iken, basamak oluşturulmaya başlanıp, ocakta bir düzen sağlandıktan sonraki dönemde ortalama 0,32 TL/ton'a düşmüştür.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmedeki süreç iyileştirme çalışmaları ve bunun neticesinde oluşturulan basamaklar, çalışma alanında kolaylık sağlamanın yanı sıra maliyet konusunda da oldukça önemli iyileşmelere neden olmuştur.

Önceden yapılan patlatma uygulamalarında, malzemenin zirveden zemine aktarımı sırasında makinelerde yaşanan gereksiz yakıt harcamaları maliyeti artırmaktaydı. Buna bağlı olarak artan amortisman maliyetleri ve düzensiz patlatmalar sonucu iri boyutta malzemenin ortaya çıkması, bunun sonucunda yükleme-nakliye veriminin düşmesi ve kırıcı maliyetinin artması gibi olumsuzluklar maliyeti olumsuz yönde etkilemekteydi. Ayrıca patlatma sonrası açığa çıkan yığının zemine aktarımı sırasında yamaçta askıda kalan malzeme, patlayan toplam yığının önemli bir bölümünü oluşturmaktaydı. Askıda kalan bu malzemenin alınamayıp konkasöre gönderilememesi ve buna ek olarak, bir süre sonra askıda kalan malzemenin bulunduğu bölgede patlatma yapılacağı zaman, bölgenin delici için temizlenmesi aşamasında tekrar bir aktarma yapılmasının gerekmesi de patlatma birim maliyetinin artmasında etkili olmuştur.

Süreç iyileştirme sonrası oluşturulan basamaklar sayesinde, her patlatma sonrası öteleme işi için ekskavatörlerin ocak zirvesine çıkmasına gerek kalmamış, böylece hem operatörlerin gece vardiyasındaki öteleme performansına bağlı kalınmamış, hem de makinelerin yakıt ve amortisman giderleri azaltılmıştır. Ayrıca patlatmada açığa çıkan toplam yığın, basamak üzerinde ekskavatörlerle rahatça kamyonlara yüklenebilmiş ve yığının tamamı konkasörde kırılmıştır. Bunun sonucu olarak aylık ve yıllık üretim miktarları 411711 ton/yıl'dan 747323 ton/yıl'a çıkmış ve buna karşın yukarıda bahsedildiği gibi 1 m³ kayacı yerinden koparabilmek için gerekli olan patlayıcı maliyetinde %50'ye varan bir düşüş gözlenmiştir. Elbette düşen bu maliyet, ürünün birim maliyetine de etki etmiştir.

Ayrıca, ocakta galeri atımından kaynaklanan çevresel ve iş sağlığı ve

güvenliği sorunları, basamak düzlemine geçiş ile minimuma indirilmiştir.

6 KAYNAKLAR

- (1) Bozkurt, R., 2005, Süreç iyileştirme, MPM Yayınları 4. Basım, No:661, Ankara
- (2) Roberts, L., Process Reengineering-The Key to Achieving Breakthrough Success, Milwaukee: Wisconsin, USA, ASQC, Quality Press, 1994
- (3) Pirinççiler, E. C. Y., ve şen, A., " Süreç İyileştirme Çalışmalarında Veri Madenciliği Yaklaşımının Kullanılması Üzerine Bir Çalışma. "Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırmaları Dergisi, Sayı 29, s. 57-77, 2012
- (4) Öztürk, Ö., Çelikkol, M., Erkan, M., 2007. Türkiye Agrega Sektör Raporu. Hazır Beton, Kasım-Aralık, 52-56.
- (5) Arıoğlu, N., Arıoğlu, M.Ö., and Arıoğlu, E., 2003, Crushed Prefabricated Concrete Elements As Recycled Aggregates For High Strength Concrete, International Symposium on Industrial Minerals and Building Stone, pp. 633-638, İstanbul
- (6) xxxxx Ruhsat No'lu Kalker Ocağı ve Kıрма- Eleme Tesisi Kapasite Artışı Nihai ÇED Raporu, 2013
- (7) Aktimur, İ.T., 1986, Erzincan, Refahiye ve Kemah dolayının jeolojisi: MTA Rap., 7932, (yayımlanmamış) Ankara.; 1988 a, 1: 100 000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Sivas-F 24 paftası: MTA Yayl., Ankara.
- (8) Yılmaz A. O., Arıoğlu, E., 2006, Taşocağında Üretim Maliyetlerinin Matematiksel Modelinin Oluşturulması ve Örnek Uygulama, 4. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, (s. 265-276) İstanbul
- (9) Langefors, U., Kihlström, B., 1979. The Modern technique of rock blasting, 3rd edition, John Wiley & Sons, NY, 437 pages.
- (10) Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı 3. Baskı, 2012, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara

Delme-Patlatma Tasarımı ve Uygulaması
(Drilling-Blasting Design and Application)

Patlatmadan Kaynaklı Çevresel Etkilerin İncelenmesi ve Uygulamaya İlişkin Bir Örnek

The Investigation of Environmental Impacts Induced by Blasting and An Example of Practice

A.M. Kılıç, E. Kahraman

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET Açık ocak madenciliğinde geniş kullanım alanı olan patlatma, çeşitli çevresel sorunlara sebep olmaktadır. Bu sorunlar; titreşim (yer sarsıntısı), hava şoku (gürültü), kaya fırlaması, toz ve kirletici gazlardır. Oluşan çevresel etkiler bölgedeki halkta korku ve endişe yaratmaktadır. Bu çalışmada Adana ili, Karaisalı ilçesi, Karapınar bölgesinde bulunan taş ocağında yapılan patlatma işlemlerinin çevresel etkileri incelenmiştir. Bu etkilerin ülkemizdeki yasa ve yönetmelikler çerçevesinde, kabul edilebilir sınırlarda olup olmadığı değerlendirilmiştir.

ABSTRACT Blasting which has a wide usage area in opencast mining cause environmental problems. These problems are vibration (tremors), air shock (noise), fly-rock, dust and polluting gases. Consisting of environmental impacts is creating fear and anxiety in people of the region. This study examined of environmental problems resulting from blasting operations at limestone quarry in Adana, Karaisalı, Karadiken region. These effects are evaluated whether the acceptable limit with laws and regulations in our country.

1 GİRİŞ

Özellikle mekanik mukavemeti yüksek ve kazıcı makinalar kullanılmak suretiyle üretim işlemi gerçekleştirilemeyen madencilik faaliyetlerinde en önemli işlem delme ve patlatmadır. Ayrıca delme ve patlatma işleri yol, tünel, köprü, inşaat faaliyetleri gibi daha birçok alanda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat yapılan patlatma işlemlerinde önemli olan malzemenin yerinden sökülmesi olamamalıdır. Özellikle yerleşim yerlerine yakın olan çalışmalarda patlatmadan kaynaklı çevresel etkilerin en aza indirilmesi gerekmektedir. Çevresel etkilerin azaltılması iyi bir patlatma paterninin oluşturulması ile mümkündür. Çevrede yaşayan halkın huzuru ve üretimin sağlıklı ilerlemesi için patlatmalar (atımlar) incelenmeli ve gerekli ölçümler yapılarak uygun olan patlatma parametreleri belirlenmelidir.

Patlatıcı madde ile yapılan üretimlerde üreticiji ve çevre halkını endişelendiren ana konu patlatmadan kaynaklı yer sarsıntısı ve hava şokudur.

Özellikle yerleşim yerlerine yakın olan işletmelerde çevre halkından pek çok şikayet gelmektedir. Şikayetlerin başlıca kaynakları (Barutsan, 2001):

- **Haklı Şikayetler:** Büyük atımlarda yerleşim yerine yakın olan bölgede, yapılar zarar verecek boyutta titreşim ve gürültü oluşabilmektedir. Bu atımlardan kaynaklı sorunlardır.
- **Psikolojik Şikayetler:** Yakın yerde patlama yapıldığının bilen kişinin patlama ne kadar zararsız olursa olsun psikolojik olarak olaydan etkilendiğini düşünmesinden kaynaklı sorunlardır.
- **Bilgisizlikten Kaynaklanan Şikayetler:** Patlatmadan kaynaklanan ses ve hava şoku sınır değerlerin altında da olsa olayın etkisini bilmeyen insanlar düzenli olarak yapılan atımlardan etkilenebilmektedirler.
- **Kötü Niyetli Şikayetler:** Bazı şikayetleri ise insanlar belirli bir menfaat sağlamak için yapmaktadır.

Yukarıda sayılan şikayetlerin girişimciyi mağdur etmemesi için bir mühendislik çalışması ile patlatmada oluşan çevresel etkilerin azaltılması

gerekmektedir. Dünya genelinde yapılan değerlendirmelerde birinci grup şikayetlerin azınlıkta kaldığı ve diğer gruptaki şikayetlerin çoğunlukta olduğu anlaşılmıştır (Barutsan, 2001).

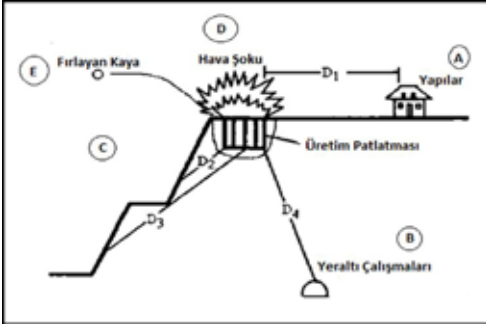
Bu çalışmada Adana İli, Karaisalı İlçesi, Karapınar Mahallesi'nde A.Y.C. İnş. Taahhüt San. ve Tic. Ltd. Şti'ne ait kireçtaşı ocağının patlatmadan kaynaklı çevresel etkiler incelenmiştir.

2 PATLATMADAN KAYNAKLI ÇEVRESEL ETKİLERİ

Patlayıcı maddelerin kaya kütlelerini kırma amacı ile kullanımlarında çevreye verebilecekleri başlıca dört olumsuzluk bulunmaktadır (Şekil 1). Bu olumsuzluklar aşağıda sıralanmıştır (Barutsan, 1999);

- Taş savrulması,
- Hava şoku,
- Toz emisyonu,
- Yer sarsıntısı.

Olumsuz çevresel etkilerin önlenmesi için üzerinde durulması gereken temel husus uygun patlatma tasarımıdır. Kayaç özellikleri ve jeolojik yapıyı da dikkate alarak, bilimsel verilere dayalı patlatma tasarımı belirlenmeli, özellikle basamak patlatmasında uygun gecikme aralıklı ateşleme gerçekleştirilmelidir (Hüdaverd ve Kuzu, 2005).



Şekil 1. Patlatmanın çevresel etkileri (Dick ve ark., 1983)

2.1 Taş Savrulması

Taş savrulması, patlatma işlemi sırasında patlayıcı madde kaya kütlesi içinde yeterince hapsedilemezse reaksiyon sonucu oluşan yüksek basınçlı gazların atmosfere erken deşarj olması sırasında bazı kayaların kütlede ayrılarak uzağa savrulması olayıdır (Değerli, 2012).

Patlatma esnasında ses üstü hızda gelişen kimyasal reaksiyonun yarattığı şok enerjisi etkin olur. İkinci olarak da reaksiyon sonucu oluşan gaz ürünlerin çok büyük basınçlar ile çatlaklara doluşması parçalama işlemini tamamlar ve parçalanmış kütleleri öteletir. Patlayıcı maddenin kaya kütlesi içinde iyi bir şekilde hapsedilmediği durumlarda, reaksiyon sonucu oluşan yüksek basınçlı gaz ürünler bulabildikleri çatlaklardan atmosfere erken deşarj olurlar. Çok yüksek hızla oluşan gaz boşalımı kaya kütlelerinde bir kısım yırtılmalara neden olur ve beraberinde kaya parçalarını da hareketlendirir. Böylece savrulan kaya parçaları çevrede tehlike yaratırlar.

Taş savrulmasının kontrol edilebilmesi için delme patlatma tasarımı esnasında aşağıdaki hususların göz önüne alınması gerekir (Barutsan, 1999);

- Patlayıcı madde, uygun çap ve boyutta delikler kullanılarak kaya yapısı içinde olabildiğince homojen dağıtılır ve hapsedilir.
- Patlayıcının büyük miktarlarla odaklaştığı ve parçalanma mekanizmasının kontrol edilemediği "galeri patlatması" uygulanmamalıdır.
- En az, dilim kalınlığı boyutunda sıkılama boyu bırakılır ve uygun bir malzeme kullanılarak sıkılama yapılır.
- Patlatma sonucu oluşan şok dalgasının enerjisinin tamamının kayayı parçalamada kullanılabilmesi için ve çok sıralı atımlarda patlatma sırasının düzenlenerek düzgün ötelemenin oluşabilmesi için gecikmeli kapsüller kullanılır.

2.2 Hava Şoku (Gürültü/Ses)

Patlatmada önlemler alınmadığı durumlarda kaya çatlaklarından dış atmosfere hızla ve erken boşalan, reaksiyon ürünü gazlar önemli düzeyde gürültü oluştururlar. Önlemlerin alınmadığı koşullarda gürültü düzeyi yüksek boyutlara ulaşarak hava şoku dalgalarına dönüşür. Şok dalgalarının oluşmasında diğer bir etkenin de, hızla harekete geçen kaya kütlesi olduğu savlara bulunmaktadır. Harekete geçen kaya kütlesi bir piston görevi görerek şok dalgaları yaratmaktadır. Şok dalgaları çoğunlukla insanlarda psikolojik rahatsızlıklara neden olmakta, patlatmanın kendilerine zarar vereceği endişesi yaratmaktadır. Atmosferde yol alarak binalara ulaşan şok dalgaları, cam ve gevşek çerçevelerin titreşimine yol açmakta insanlarda patlatmanın çok şiddetli olduğu kanısını uyandırmaktadır.

Şok dalgalarının insanlar üzerine etkisi, insanların o andaki psikolojik durumlarına göre değişmektedir. Keyifli ve mutlu olduklarında çok şiddetli hava şokunu umursamayan insanlar, keyifsiz ve kızgın oldukları durumlarda en ufak şok dalgalarına aşırı tepki verebilmektedirler. Zaman zaman hava şok dalgaları şiddetli olabilmekte ve yapılarda hasara yol açabilmektedir. En belirgin hasar cam kırılmasıdır. Bununla beraber cam kırılmalarında, camların iyi tespit edilmemiş olması, çerçeve ve kasaların gevşek olması gibi bina sahiplerinin de kusurları bulunmaktadır. Şok dalgalarının daha yüksek şiddetlerinde bacalarda hasar ve duvarlarda sıva çatlakları gözlemlendiği de görülebilmektedir. Hava şokunun önlenmesi için alınması gereken önlemler, taş savrulmasının önlenmesi için alınması gereken önlemlerle aynı olmakla birlikte, ayrıca, delme öncesi, patlatma aynası incelenerek, gaz deşarjına yol açabilecek bir jeolojik olgu olup olmadığı incelenip, böylesine bir jeolojik olgunun varlığında o bölgeye az patlayıcı madde yerleştirilmesi de gerekmektedir (Barutsan, 1997).

2.3 Toz Oluşumu

Patlatma ile kayaların kırılması aşamasında, büyük miktarlarda kaya kütlesi harekete geçirilmektedir. Söz konusu hareket sırasında da bir kısım iç öğütme oluşur. Bu nedenler ile belirli bir miktar toz emisyonu kaçınılmazdır. Büyük açık ocak maden işletmelerinde yapılan gözlemlerde, patlatma ile verilen toz emisyonu, diğer toz kaynaklarına kıyasla ihmal edilebilecek kadar az miktarda ve kısa süreli olmaktadır. Toz oluşumu hem işçi sağlığı, hem de makine ve ekipmanların ekonomik ömürleri üzerinde etkili olan ciddi bir sorun olup, hafife alınmamalıdır (Barutsan, 1995). Basamak patlatması sırasında toz oluşumuna karşı alınabilecek teknik önlem patlatma öncesinde delikler şarj edilip hazırlandıktan sonra patlama yapılacak kısmın sulanmasıdır. Sulama işlemi patlatma deliklerinin yakınından basınçlı su püskürtmek şeklinde, basınçlı su püskürtme özelliği bulunan tankerlerle, patlatmadan çok kısa bir süre önce yapılmalıdır.

2.4 Yer Sarsıntısı

Patlatmanın çevreye olan en önemli etkisi yer sarsıntısıdır. Çünkü taş savrulması hava şoku, toz oluşumu patlatma noktasına yakın bölgelerde etkin olabilirken yer sarsıntısı çok uzaklarda da kendini

hissettirebilmektedir. Yer sarsıntısı, kaya patlatma sürecinin kaçınılmaz bir sonucudur. Patlatmalı kazı işlemlerinde patlatmanın asıl amacı kayayı kırarak gevşetmek veya ötelemeektir. Ancak detonasyon süresince açığa çıkan ve kayaya uygulanan enerjinin en azından bir kısmı, sismik dalga ve hava şoku şeklinde verimsiz artık enerjiye dönüşür (Barutsan, 1999). Bu enerji, patlatma kaynağından uzaklaştıkça ihmal edilebilir bir düzeye iner ve tamamen sönüncüye kadar uzun bir mesafe kat edebilir. Titreşimler, patlatma kaynağına yakın bölgelerde, mesken, sanayi, tesisleri ve diğer yapılarla birlikte kaya yapılarına hasar verebilir, kaya şev stabilitesinde problemlere neden olabilirler (Barutsan, 2001).

İlk başta ortama yeni gelen enerji ortamdaki konumunu bozarak yer değiştirmeye neden olur. Dalga hareketi sırasında toplu bir hareket veya madde taşınması söz konusu değildir. Ortamı oluşturan parçacıklar denge pozisyonlarında salınım ve dönme hareketini yaparlar. Sismik dalgaların taşınması katettiği mesafe, hareket ettiği formasyon, frekans, süreksizlikler, kaynak yapısı ve ortamın elastik özelliğine bağlıdır (Yağanoğlu,1995).

Yer sarsıntıları depremler ile benzer etkiler yaparlar. Dolayısı ile oluşan yapı hasarları benzerlik gösterirler. Bu nedenle deprem veya patlatma sarsıntısı ile oluşan hasarları, diğer nedenler ile oluşan hasarlardan ayırmak, teknik olarak mümkündür. Yer sarsıntısının problem yarattığı patlatmaların planlamalarında mesafe, şarj, jeolojik yapı ve yer sarsıntuları arasındaki ilişki göz önüne alınmalıdır.

3 ÇALIŞMA SAHASI GENEL BİLGİLER

3.1 Sahanın Coğrafik Konumu

Kalker üretimi yapılacak olan, A.Y.C. İnş. Taahhüt San. ve Tic. Ltd. Şti adına 20069373 Ruhsat Numaralı, II-A Grup Maden (Kalker) sahası, Adana İli, Karaisalı İlçesi, Karapınar Mahallesi civarında yer almaktadır (Şekil 2).

Proje alanı Adana İli'nin 38km kuzeybatısında, Karaisalı İlçesi'nin 620m kuzeybatısında yer almaktadır. Proje alanına en yakın yerleşim birimi, proje alanının 500m doğusunda yer alan ve Karaisalı İlçesi'ne bağlı Karapınar Mahallesi'dir.

3.2 Çalışma Sahasının Jeolojisi

Çalışma alanının jeolojisi incelendiğinde ruhsat alanı batısında Çakıt suyunun geçtiği bölümlerde Kuvaterner yaşlı çökel birimler gözlenmektedir. Çalışma sahası içerisinde miyosen yaşlı kireçtaşı, alanının batısında oligosen-miyosen yaşlı çakıl taşı ve devoniyen yaşlı kireçtaşı bulunmaktadır (Görür, 1979).

Çalışma sahasında geniş bir yüzlek veren Karaisalı kireçtaşı; kalın tabakalı, biyoklastik, mercanlı veya küçük foraminiferli, açık gri renkli, beyaz-krem renkli, algli, mercanlı, sıkı dokulu tabakalanmasız biyoklastik kireçtaşından oluşur. Karaisalı resifal kireçtaşları genellikle beyaz, açık gri, orta, kalın katmanlı, keskin köşeli kırıklı, algli, mercanlı, gastropodlu ve ekinidli, yer yer killi, erime boşluklu biyoklastik kireçtaşdır. ve çevresinde geniş bir yayılıma sahip Karaisalı kireçtaşı yer almaktadır.

Karaisalı Kireçtaşı altı alt fasiyese ayrılabilir. Bunlar;

- Mercanlı-algli istif taşı ve bağlam taşı,
- Küçük bentonik foraminiferli-algli istif taşı,
- Mercanlı-algli vaketası ve istif taşı,
- Büyük bentonik foraminiferli-algli istif taşı
- Globijerinli-algli istif taşı,
- Globijerinli killi vaketası



Şekil 2. AYC kireçtaşı işletmesine ait yer bulduru haritası

3.3 Patlatma Tasarım Parametreleri

Madencilik faaliyetlerinde delme patlatma işlemlerinde en uygun paterni oluşturmak için sahanın kontrol edilemeyen parametrelerinin belirlenmesi ve tüm hesaplamaların bu parametrelere uygun yapılması gerekmektedir. Kontrol edilemeyen parametrelerin başında sahanın jeolojik yapısı (çatlak, kırık, fay sistemleri) gelmektedir. Ayrıca kayaç özelliklerinin de göz önünde bulundurulması önemlidir.

Çalışma sahası masif kireçtaşı oluşumludur. Saha genel olarak homojen bir oluşum sergilemektedir. Bundan dolayı sahanın her yerinde aynı patlatma tasarımının uygulanmasında bir sakınca yoktur. Sahada uygulanan patlatma parametrelerinin uygun olup olmadığını gözlemek için farklı pek çok tasarım denenmiştir. Her tasarımın ekonomikliği ve çevresel etkileri tek tek değerlendirilerek en uygun tasarım parametresi seçilmiştir. Çizelge 1'de patlatma tasarım parametreleri verilmiştir.

Patlatma maliyeti göz önüne alındığında patlatmadan kaynaklı çevresel etkinin yanı sıra parçalanmanın yeterli olup olmadığı etkin bir patlatma için önem arz etmektedir.

Çizelge 1. Taş ocağında gözlemlenen patlatmanın tasarım parametreleri

Delik Düzeni	Şeş Beş
Delik Çapı	89 mm
Delikler Arası Mesafe	2,5 m
Max. Dilim Kalınlığı	2,75 m
Delik Eğimi	90°
Basamak Yüksekliği	10 m
Şarj Miktarı (1 Delik)	30 kg
Delik Taban Payı	1 m
Delik Boyu	11 m
Basamak Eğimi	80°
Sıkılama Boyu	3,5 m
Su Durumu	Susuz
Patlayıcı Madde	ANFO
Yemleme	1 kg (Jelatinit Dinamit)
Kapsül	Gecikmeli Elektriksiz
Özgül Spesifik Şarj	0,45 g/m ³

4 TAŞOCAĞINDA PATLATMADAN KAYNAKLANAN OLASI ÇEVRESEL ETKİLERİN BELİRLENMESİ

Patlatma sonucu oluşan şok dalgalar havada ve ateşlenen kaya birimi içinde belirli bir hız, frekans ve genlikte yayılmaktadır. Bu yayılım atım yerinden uzaklaştıkça sönme eğilimi göstermektedir. Şok dalgalarının çevrede bulunan hassas noktalara (yerleşim birimleri, yol vb) hasar verebilmektedir. Bu meydana gelebilecek olan zararların Türkiye’de mevcut bulunan yasa ve yönetmelikler çerçevesinde olması zorunludur. AYC Madencilik kalker işletmesinin bazı hassas noktalara uzaklığı Çizelge 2’de ve Şekil 3’de verilmiştir.

Çizelge 2. A.Y.C. Madencilik Kalker (Taş Ocağı) İşletmesinin bazı hassas noktalara olan uzaklıkları

Nokta	Patlatma yapılacak olan yere olan uzaklığı (m)
Tali Yol	462
Karapınar Mahallesi	500
Karaisalı İlçesi	575
Aşağı Belemelik Köyü	1175



Şekil 3. Kalker İşletmesinde patlatma yapılacak olan ruhsat sahasının bazı hassas noktalara olan uzaklıklar

Hesaplanan patlatma tasarımına göre patlatmadan kaynaklı olası çevresel etkiler hesaplanmıştır. Bir patlatma için (50 delikten oluşan) toplam 1550 kg olmak üzere, her deliğe 31.0 (30.0 kg AN FO+1.00 kg dinamit) kg patlayıcı konulacaktır. Yapılan patlatmada 8937,5 ton malzeme çıkarılacaktır.

Patlatmalar her bir deliğe, elektriksiz gecikmeli kapsül düzenekleri kullanılarak yapılacaktır. Böylelikle her bir deliğin farklı gecikme aralıklarında patlaması (her bir delik bağımsız olarak tek başına patlayacak dolayısıyla maksimum anlık şarj 31.0 kg olacaktır) sağlanacaktır. Böylece ortaya çıkabilecek çevresel etkiler minimize edilecektir.

4.1 Hava Şoku Etkisi Hesabı

Bilindiği üzere patlatma etkilerinden bir tanesi de hava şoku etkisidir. Özellikle hava şoku etkisine maruz kalınmaması için patlatma esnasında patlatma için hesaplanan “hava şoku etki mesafesine” dikkat etmek gereklidir.

Patlatma sonucu oluşan hava şoku etkisi eşitlik (1-2 ve 3) ile hesaplanmaktadır (Calzia, 1969).

$$\text{Şiddetli Etki Zonu} = D < 5\sqrt{W_T} \quad (1)$$

$$\text{Orta Şiddette Etki Zonu} = 5\sqrt{W_T} < D < 10\sqrt{W_T} \quad (2)$$

$$\text{Hafif Şiddette Etki Zonu} = 10\sqrt{W_T} < D < 15\sqrt{W_T} \quad (3)$$

D= Etkili Zon Aralığı (m)

W_T =Bir Gecikme Aralığında Kullanılan Patlayıcı Madde Miktarı (Anlık Şarj) (kg)

Hava şoku hesaplamaları ruhsat alanlarında yapılacak maksimum anlık şarj miktarları dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu hesaplamayı patlatma tasarımı yapılan kalker (taş) ocağı için yapacak olursak: Sahada gecikmeli elektriksiz kapsül düzeni ile patlatma yapıldığındaki hava şoku etki alanı aşağıdaki eşitliklerin sonucuna göre ortaya çıkmaktadır.

Patlatmada Kullanılacak Maksimum Anlık Şarj (W_T) 30.0 kg AN-FO+1.00 kg olarak belirlenmiştir.

- **Şiddetli Etki Zonu**

$$D < 5\sqrt{W_T} \Rightarrow 5 \times \sqrt{31.0} = 0 - 27.83 \text{ m}$$

- **Orta Şiddette Etki Zonu**

$$5\sqrt{W_T} < D < 10\sqrt{W_T} = 10 \times \sqrt{31.0} = 27.83 - 55.67 \text{ m}$$

- **Hafif Şiddette Etki Zonu**

$$10\sqrt{W_T} < D < 15\sqrt{W_T} = 15 \times \sqrt{31.0} = 55.67 - 83.51 \text{ m}$$

Hesaplamalarda da görüldüğü üzere anlık şarj miktarı çok fazla olmadığından, 0 ile 27.83 metre arasında hava şoku etkisi şiddetli olurken, bu etki 83.51 metreden sonra sönümlenerek etkisiz bir hale gelmektedir. İşletmeye en yakın hassas nokta 462 m uzaklıktaki tali yoldur. Hava şoku etkisi bakımından değerlendirme yapıldığında patlatma yapılan

bölgeden kaynaklı olarak hiç bir hassas yerin etkilenmeyeceği görülmektedir.

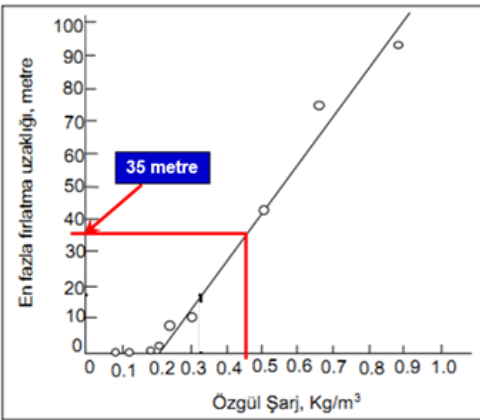
4.2. Taş Savrulması (Fırlaması) Hesabı

Patlatmalarda dilim kalınlıkları ve/veya sıkılama boyu ve malzemesi yetersiz olunca fırlayan kaya sorunlarıyla karşılaşılır. Bu durum can ve mal güvenliği bakımından önemlidir.

Uygun çap ve boyutta delikler kullanılarak kaya içinde patlayıcı maddelerin dengeli homojen dağıtılması, uygun delik geometrisi hesaplanarak deliklere uygun yük verilmesi, en az, delik-ayna (yük) mesafesi boyutunda sıkılama boyu bırakılması ve uygun bir malzeme kullanılarak ağır sıkılması yapılması ve gecikmeli ateşleme yönteminin uygulanması gerekmektedir.

Literatürde (İsveç Patlatma Araştırma merkezi-SVEDEFO) 1 m³ kayaç kırmak için kullanılacak patlayıcı madde miktarı ile en fazla fırlatma uzaklığı arasında verilen ilintiden yararlanmak sureti ile spesifik patlayıcı madde tüketimi (kg/m) için söz konusu uzaklık kestirilebilir. Yeterli dilim ve sıkılama uzunlukları için aşağıdaki değerler kestirim değerleri olarak kabul edilebilir (Şekil 3).

Kalker işletmesi (taş ocağı) için taş savrulma (fırlaması) mesafesi hesaplanacak olursa, öncelikli olarak özgül şarjın hesaplanması gerekir. Özgül şarj Özgül şarj daha önceki bölümde 0.45 kg/m³'dir. O halde taş savrulma (fırlama) mesafesi Şekil 4'den 35 metre olarak bulunur.



Şekil 4. Özgül şarja bağlı olarak en fazla savrulma (fırlama) uzaklığı

Ayrıca, bir patlatma sırasında ortaya çıkabilecek olan maksimum taş savrulması (fırlaması) aşağıdaki eşitlik 4 ile de bulunabilir. Savrulan taş parçasının Çapı ise Eşitlik 5 yardımı ile hesaplanabilir (Arioğlu ve Yılmaz, 2001).

$$L_m = 260Xd^{2/3} \quad (4)$$

$$(\phi) = 0,1Xd^{(2/3)} \quad (5)$$

Burada;

L_m =Maksimum taş savrulma (fırlama) mesafesi (m)

d =Delik çapı (m)

$L_m = 260 \times 0,089^{2/3} = 51,911$ metre olarak elde edilir.

$(\phi) = 0,1 \times 0,089^{(2/3)} = 0,019$ cm olacaktır.

Sonuç olarak taşın savrulacağı (fırlayacağı) mesafe 35,0 metre ile 51,911 metre arasında değişir. En yakın yer olarak tali yol 462 m, Karapınar Mahallesi 500 metre ve Karaisalı İlçesi 575 metredir. Bu nedenle herhangi bir sorun yoktur. Patlatma esnasında iyi ve düzgün bir delik sıkılması yapılır ise patlatma sonucunda taş savrulması (fırlaması) tehlike yaratacak boyuta gelmeyecektir.

4.3 Titreşim (Vibrasyon) Hesabı

Patlatmanın çevresel etkilerinin (titreşim etkisinin) hesaplanmasında Dewine bağıntısı kullanılmıştır (Devine et al, 1966).

$$V = kX \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1,6} \quad (6)$$

Bu bağıntıda,

V = Kayaç İçinde Yayılan Titreşim Hızı (inç/sn)

k = Kayaç Türüne Bağlı Katsayı (26–260)

D = Patlatma Noktası ile Çevre Yerleşim Birimleri Arasındaki Etkili Mesafe (feet)

W = Bir Gecikme Aralığındaki Patlayıcı Miktarı (libre)'dir.

1 feet = 0.3048 m

1 libre = 0.4536 kg

1 inç = 25.4 mm

Ayrıca bu bağıntıda, k katsayısı kayacın titreşimi iletme kapasitesi olarak alınmaktadır. Patlatma kaynağı ile hassas nokta arasındaki birimlerin değişkenliği, kırık, fay, çatlak gibi süreksizliklerin yoğunluğu k katsayısını etkilemektedir. Homojen birimlerde katsayı 260 sayısına yaklaşırken, tektonik etkilerin yoğunluğu ve geçilen her farklı birim

katsayıyı 26 sayısına yaklaştırmaktadır. Ocak sahasında görülen ve muhtemelen Miyosen yaşındaki kalkerlerin kırıklı, yer yer erime boşluklu olması süreksizliklere işaret olup, k katsayısının 50 olarak alınmasında fayda olduğunu göstermektedir. Uluslararası ölçekte kabul gören Devine kurallarına göre hesaplanan güvenli bölge mesafelerinin mutlaka karşılanması gerekmektedir. Ayrıca Madencilik faaliyetlerinin yapılacağı bölgenin depremsellik durumunun da incelenmesi gerekir. Gerek patlatma sırasında ölçülen V_0 değerleri ve gerekse kaya cinsine göre Devine bağıntısı ile hesaplanan anlık şarjla göre belirlenen deplasman değerleri karşılaştırılarak en küçük değer baz alınmalıdır. Gecikmeli elektriksiz kapsül (şok tüp) düzeneği ile patlatma yapıldığında her bir delik tek başına (bir birini takip ederek) farklı zaman aralıklarında patlayacak (25 ile 42 milisaniye) ve böylece de aynı anda patlayan patlayıcı madde miktarı bir delikteki patlayıcı madde miktarına eşit olacaktır. Patlatma tasarımı gerçekleştirilen kalker (taş) ocağında patlatma işlerinde Gecikmeli elektriksiz kapsül düzeneği ile ateşleme (yemleme) yapıldığında 23 adet patlatma deliği olmasına rağmen her bir delik ayrı ateşleneceğinden (yemleneceğinden) maksimum anlık şarj 31.0 (30.0 kg AN-FO+1.0 kg dinamit) olacaktır. Bu nedenle Devine bağıntısı kullanılarak yapılan patlatma tasarımı hesaplamalarında toplam (anlık) şarj 30.40 kg olarak alınmıştır. Patlatma sonucunda mesafeye bağlı olarak ortaya çıkabilecek titreşim değerleri Devine bağıntısına göre hesaplanarak Çizelge 3'de verilmiştir.

Binalardaki hasarların titreşim genliği yönünden incelenmesi: Patlatma sonucu oluşan titreşimlerin genliği aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır (Armac Printing Company).

$$A = \left(\frac{K \sqrt{W}}{D} \right) \quad (7)$$

A= Patlatma sonucu oluşan titreşimlerin azami genliği (mm)

W= Bir gecikme aralığında ateşlenen patlayıcı miktarı (kg)

D = Patlatma kaynağı ile çevre yerleşim birimleri arasındaki etkili mesafe (m)

K = Kayaç türüne bağlı katsayısı Patlatma yapılan kaya türü ve bina temeli altındaki kayaç türüne bağlı

olarak değişim gösteren K katsayısı asgari ve azami değerleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 3. Kalker İşletmesinde mesafeye göre patlatma sonucunda kayaç içi (V) ve bina temelinde (V_0) oluşabilecek titreşim hızının mesafeye bağlı değişimi

D (Mesafe)		V (Kayaç titreşim hızı)		V_0 (Bina temeli titreşim hızı) (mm/sn)	
metre	feet	inç/sn	mm/sn	%50 V (1/2V)	%2V (1/5)
10	32,81	5,5099	139,9	69,97	27,99
25	82,02	1,2718	32,30	16,15	6,461
50	164,04	0,4195	10,65	5,328	2,131
75	246,06	0,2193	5,57	2,785	1,114
100	328,08	0,1384	3,51	1,757	0,703
150	492,13	0,0723	1,83	0,918	0,367
200	656,17	0,0456	1,15	0,579	0,231
250	820,21	0,0319	0,81	0,405	0,162
300	984,25	0,0238	0,60	0,303	0,121
350	1148,29	0,0186	0,47	0,236	0,094
400	1312,34	0,0150	0,38	0,191	0,076
450	1476,38	0,0124	0,31	0,158	0,063
500	1640,42	0,0105	0,26	0,133	0,053
550	1804,46	0,0090	0,22	0,114	0,045
600	1968,50	0,0078	0,19	0,099	0,039
700	2296,59	0,0061	0,15	0,078	0,031
800	2624,67	0,0049	0,12	0,063	0,025
900	2952,76	0,0041	0,10	0,052	0,020
1000	3280,84	0,0034	0,088	0,044	0,017
1100	3608,92	0,0029	0,075	0,037	0,015
1200	3237,01	0,0025	0,065	0,032	0,013
1300	4265,09	0,0022	0,058	0,029	0,011
1400	4593,18	0,0020	0,051	0,025	0,010
1500	4921,26	0,0018	0,046	0,023	0,009

*****(K=50; W=31.0 kg; 68libre; 1 libre = 0.4536 kg; 1 feet = 0.3048 m; 1 inç = 25.4

Çizelge 4. Patlatma yapılan kaya türü ve bina temeli altındaki kayaç türüne bağlı olarak değişim gösteren K katsayısı asgari ve azami değerleri (Armac Printing Company)

Patlatma yapılan birim	Temel altı kayaç türü	K katsayısı	
		Minimum	Maksimum
Kaya	Kaya	0.57	1.15
Kaya	Kil (toprak)	1.15	2.30
Kil (toprak)	Kaya	1.15	2.30
Kil (toprak)	Kil (toprak)	2.30	3.40

Genlik değerinin 0.05 mm'nin altında olması durumunda binalarda hasar olmadığı bilindiğinden maksimum patlayıcı miktarı ile yapılan atımlarda etki mesafesi; Patlatma yapılan temel birim kaya olduğu için ve temel altı kayaç türü kaya+toprak olduğu için K katsayısı tablodan 1.15 alınmıştır. Yukarıdaki eşitlik yardımı ile etkili mesafe değeri (D) aşağıda hesaplanmıştır.

$$D = \left(\frac{K \sqrt{W}}{A} \right) \quad (8)$$

$$D = \left(\frac{1,15 \sqrt{31}}{0,05} \right) = 128,05m$$

Patlatma kaynağı ile çevre yerleşim birimleri arasındaki etkili mesafe (D) 128.05 metre olarak bulunmuştur. Bulunan bu rakam (128.05 m) tasarımı yapılan patlatma programının uygulanacağı yere güven içinde yaklaşabilecek minimum uzaklığı göstermektedir. Bu uzaklık başta insan olmak üzere canlıların patlatma sırasında yaklaşabilecekleri minimum güvenli mesafedir. Yani başka bir deyişle patlatmanın yapıldığı noktaya, bu mesafeden daha yakın (128.04 m) yaklaşılmalıdır.

Patlatma sonucunda titreşim (vibrasyon) etkisinin belirlenmesi amacıyla da 04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazete de yayımlanarak yürürlüğe giren

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğine göre değerlendirme yapmak gerekmektedir. Bu yönetmeliğin Madde 25-a bendinde yer alan ve 04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazete de yayımlanarak yürürlüğe giren Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, Madde 25-a bendinde yer alan, Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunulan alanlardaki patlatmaların çevredeki çok hassas kullanımlarda oluşturduğu zemin titreşim seviyesi bu Yönetmeliğin ekindeki Ek-VII'de yer alan Tablo-6'da verilen sınır değerleri aşamaz hükmüne bakmak gerekmektedir. Yönetmelik Ek-VII'de verilen değerler Çizelge 5'de verilmektedir.

Çizelge 5. Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin izin verilen en yüksek değerleri (Yönetmelik, 2010)

Titreşim Frekansı (Hz)	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (Tepe Değeri – mm/sn)
1	5
4-10	19
30-100	50

***** (1 Hz - 4 Hz arasında 5 mm/s'den 19 mm/s'ye; 10 Hz - 30 Hz arasında 19 mm/s'den 50 mm/s'ye, logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir).

En yakın yer olarak tali yol 462 m, Karapınar Mahallesi 500 metre ve Karışalı İlçesi 575 metre'dir. Buradaki titreşim değerleri ise 31.0 kg'lık anlık sarj için sırasıyla 0.303, 0.267 ve 0.214 mm/saniye olacaktır. Bu değerler "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" Ek VII'da belirtilen değerlerle karşılaştırıldığında bunların çok altında kaldığı görülmektedir.

Yapılacak olan patlatmalarda hassas bölgelere olan etkiler Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Patlatma sonucunda oluşacak olan titreşimlerin hassas bölgelere etkileri

Nokta	Mesafe (m)	^a Oluşacak Kayaç Titreşim Hızı V (mm/sn)	^b Oluşacak Bina temeli titreşim Hızı V ₀ (mm/sn)
Tali Yol	462	0.303	0.1515
Karapınar Mahallesi	500	0.267	0.1335

Karaisalı İlçesi	575	0.214	0.107
Aşağı Beledelik Köyü	1175	0.068	0.034

****a ve b Hesaplamalar Devine bağıntısına göre yapılmıştır

Bina Temelinde meydana gelen titreşim hızı (V_0) değerlendirmesine bağlı olarak patlatma nedeniyle hasar görebilecek bina türleri Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Patlatmada oluşan titreşimden hasar görececek bina türleri (Forssbland, 1981)

Bina Türü V_0	(mm/sn)
a. Yıkılmaya yüz tutmuş çok eski tarihi binalar	2
b. Sıvalı biriket, kerpiç, yığma tuğla evler	5
c. Betonarme binalar	10
d. Fabrika gibi çok sağlam yapıda endüstriyel binalar	10-40

Çizelge 6'da hesaplanmış olan tüm titreşim değerleri 2 mm/sn (a. Yıkılmaya yüz tutmuş çok eski tarihi binalar) değerlerinin altındadır. Bu bakımdan tasarımı yapılan patlatma parametrelerinin uygulanması hiçbir tehlike arz etmemektedir.

4.4 Toz Emisyonu

Patlatma ile kayaların kırılması aşamasında, büyük miktarlarda kaya kütlesi harekete geçirilmektedir. Hareket sırasında bir kısım iç ögütme meydana gelir. Bu aşamada oluşacak toz emisyonları patlatma öncesi sulama yapılarak indirgenmeye çalışılır. Patlatma çok anlık bir olaydır. Toz kütlesi büyük ölçüde yoğunluğundan dolayı direk çökme eğilimi göstermekte ve hassas bölgelerde çevresel olarak olumsuz bir etki yaratmamaktadır.

5 SONUÇLAR

Bu çalışmada AYC madenciliğe ait kalker ocağında uygulanan patlatmalar incelenmiştir. İncelenen patlatmalar sonucunda oluşan çevresel etkiler değerlendirilmiş ve oluşum prensipleri incelenmiştir. Bu etkilerin azaltılması amacıyla işletme için pek çok patlatma tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımlar tek tek denenmiş ve en uygun olan patlatma

parametreleri oluşturulmaya çalışılmıştır. Böylelikle hem maliyet hem de çevresel etki bakımından en uygun olan tasarımın uygulanması amaçlanmıştır.

Patlatmanın düzenli ve emniyetli bir şekilde yapılması halinde çevresel olarak yaşanan sorunların azaltıldığı gözlenmiştir. Ocağa yakın olan hassas noktalarda yapılan ölçüm ve incelemelerde olumsuz bir çevresel etki gözlenmemiştir. Maden (taş ocağında) sahasında gerçekleştirilecek olan patlatmaların; zararlı titreşim, hava şoku ve taş fırlaması gibi etkisi olmayacağı öngörülmüştür.

Sahada meydana gelecek patlatmalardan kaynaklanan etkiler "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" kapsamında değerlendirildiğinde meydana gelen titreşim değerlerinin ilgili yönetmelikteki sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür.

Yerleşim yerlerinde patlatmadan kaynaklanan şikayetlerin oldukça azaldığı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Arıoğlu, E., Yılmaz, A. O., 2001. Pratik Madencilik Problemleri, TMMOB Maden Odası, Ankara, s.246-247
- Armac Printing Company, Explosives safe practice and storage, ICI-Nobels explosives comp. Limited, Ayrshie.
- Barutsan, 1995. "Barutsan A.Ş. İnfılaklı Fıtil Kullanım Kılavuzu", Elmadağ, Ankara.
- Barutsan, 1997. "Barutsan A.Ş. Ürün Kataloğu" Elmadağ, Ankara, 24 s.
- Barutsan, 1999. "Barutsan A.Ş. Ürün Broşürleri" Elmadağ, Ankara.
- Barutsan, 2001. "Barutsan A.Ş. Ürün Broşürleri" Elmadağ, Ankara.
- Calzia, J., 1969, Les subsantances explosives at levis nuisances, Dunod ed., Paris.
- Dick ve ark., 1983. Explosives and Blasting Procedures Manuel, USBM, USA.
- Değerli, E., 2012. Açık Ocak İşletmeciliğinde Basamak Patlatması Tasarımı. <http://www.maden.org.tr/>. s63.
- Devine, J.F., et al., Effect of Charge Weight on Vibration Levels from Quarry Blasting, RI, 6774 U.S. Bureau of Mines, 1966.
- Forsbland, L., 1981. Vibratory soil and rock fill com Görür, N., 1979. Karaisalı Kireçtaşmm (Miyosen) sedimantolojisi, TJJC. Bült., 22/2, s.227-234.
- Hüdaverdi, T., Kuzu, C., 2005. Madencilik Faaliyetlerinde Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkilerin Ölçülmesi ve Analizi, İstanbul Teknik

Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü,
İstanbul.

Yağanoğlu, A., 1995. Patlatmada Oluşan
Titreşimlerin Analizi ve İncelenmesi, 1. Delme
ve Patlatma Sempozyumu, ss.99-119, Ankara.
Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi
Yönetmeliği, 2010., 27601 sayılı Resmi Gazete,
Ankara.

Bir Taş Ocağında Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Değerlendirilmesi

Evaluation of the Blast-Induced Vibrations in a Quarry

Ö.Uysal, Ş. Yuvka, M. Özdemir, A.Özgür

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Bu çalışmada, bir taş ocağında yapılan patlatmaların yakında bulunan bir yerleşim yeri üzerindeki etkileri ele alınmıştır. İşletmede gerçekleştirilen 10 adet patlatma 6 adet titreşim ölçer cihaz kullanılarak titreşim ve hava şoku değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucu, saha sabitleri elde edilmiş ve saha ile ilgili denklem türetilmiştir. $PPV = 278.036 SD^{-1.219}$ şeklinde elde edilen bu eşitlik ile sonraki çalışmalarda oluşması muhtemel yersarsıntısı değerini tahmin etmek mümkündür. Son olarak, bu değerlendirmeler göz önüne alınarak çevreye verilen olumsuz etkilerin minimuma indirilmesi için delme-patlatma işlemi ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

ABSTRACT In this study, effects of blasts at a quarry to a nearby settlement were investigated. Vibration and air shock values of 10 blasting from quarry were measured by using 6 vibration measuring devices. As a result of statistically evaluation of these measurements, field constants were obtained and equations were derived for the field. Consequently, considering those evaluations some suggestions were made about drilling-blasting process to minimize the negative effects to environment.

1 GİRİŞ

Patlatma; madencilik başta olmak üzere inşaat işleri, taş ocağı işletmeciliği, baraj ve tünel inşaatı gibi birçok mühendislik faaliyetinin asli unsurlarından birisidir. Ancak, patlatma işleminin vazgeçilmezliği ile birlikte, yersarsıntısı, hava şoku ve fırlayan kaya gibi olumsuzluklar da gündeme gelmektedir. Özellikle yerleşim yerlerine

yakın olan faaliyetlerde bu unsurlar önemli bir sorun olmaktadır. Son yıllarda, patlatma işlemi kaynaklı çevresel sorunlar, söz konusu sektörlerdeki teknik elemanların en önemli problemlerinden biri haline gelmiştir (Felice 1993, Özdemir et al. 2004, Tuncer et al. 2003, Uysal et al. 2004).

Son yıllarda, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, artan hammadde ve yapı

malzemesi taleplerine paralel olarak üretim miktarları da artmaktadır. Bu talepleri karşılamak için daha fazla miktarda patlayıcı madde kullanılmakta veya işletme sayısı giderek artmaktadır. Bu artışa bağlı olarak, işletmeye yakın bölgelerde yaşayan insanların delme-patlatmadan kaynaklanan şikâyetleri de sürekli artmaktadır. Bu rahatsızlıkları ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için, tasarım aşamasında, verimlilik ve maliyet gibi teknik ve ekonomik unsurların yanı sıra çevresel etkilerinde göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu çalışmada, yakınında yerleşim yeri bulunan bir kömür işletmesi ele alınmıştır. İşletmede gerçekleştirilen patlatma işlemleri incelenmiş, sarsıntı ve hava şoku ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra bu sonuçlar değerlendirilerek, patlatmadan kaynaklanabilecek problemleri minimize edecek önerilerde bulunulmuş ve uygulama sonuçları irdelenmiştir.

2 ÇALIŞMA SAHASI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Çalışmanın yapıldığı Taş Ocağı Kütahya İli sınırları içerisinde yer almaktadır. Ocakta üretim basamak patlatması yoluyla yapılmaktadır. Ocaktan üretilen ürün kırma ve eleme tesisinde değişik boyutlara ayrıldıktan sonra piyasaya sunulmaktadır (Şekil 1).

İşletmede basamak yüksekliği 10 m olup, patlatma delikleri 89 mm çapında ve 11 m uzunluğundadır. Delikler şerbeş düzeninde, dilim kalınlığı 3 m ve delikler arası mesafe 3,5 m olacak şekilde delinmektedir. Patlayıcı madde olarak ANFO, ateşleme elemanı olarak ise elektriksiz kapsül kullanılmaktadır. Patlatma işleminden etkilenebilecek, yerleşim yerine ait en yakın bina işletme sahasına yaklaşık 1500 m uzaklıktadır.



Şekil 1. Çalışmanın yapıldığı taşocağı

3 ÖLÇÜM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Söz konusu taş ocağında yürütülen çalışma kapsamında 10 adet patlatma yapılmış ve bu atımlar 6 adet patlatma sismografi ile ölçülerek 60 adet titreşim kaydı alınmıştır. Elde edilen verilerden bazıları Çizelge 1’de verilmiştir. Bu veriler regresyon analizine tabi tutularak bir denklem elde edilmiş ve regresyon katsayısı belirlenmiştir. Bu amaçla, mesafe ve gecikme başına patlayıcı madde miktarı göz önüne alınarak hesaplanan ölçekli mesafe ve maksimum parçacık hızı (PPV) grafiği çizilmiştir (Şekil 2). Bu grafikten elde edilen denklem ve korelasyon katsayısı Eşitlik 1’de verilmiştir. Şekilde ayrıca %95 tahmin hattı

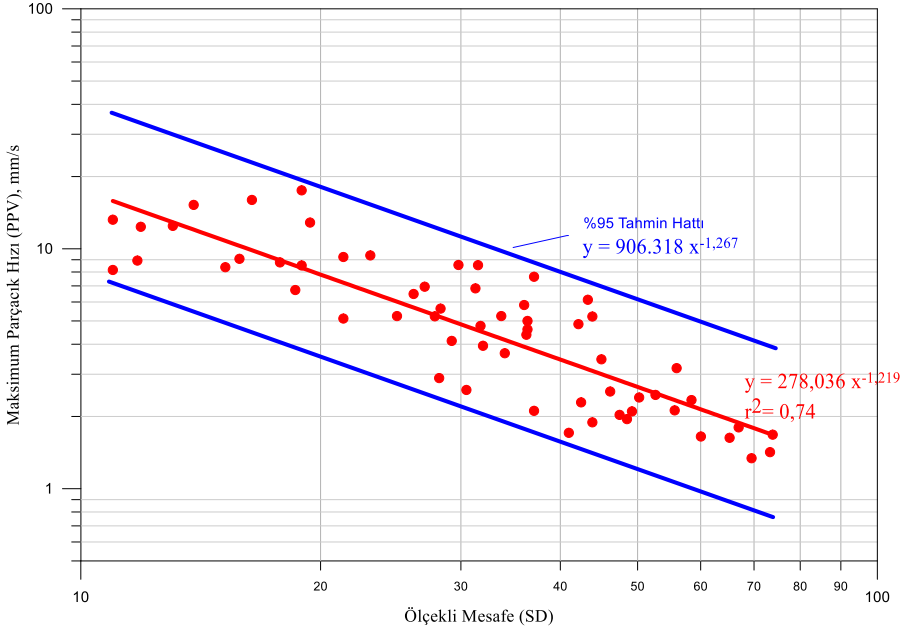
grafığı ve denklemini görülmektedir. Bu denklem, bundan sonraki patlatmalarda, patlatma noktası ile etkilenmesi muhtemel nokta arasındaki mesafe ve gecikme başına kullanılacak maksimum patlayıcı madde miktarının göz önüne alınarak, burada oluşacak titreşimin tahmin edilmesinde kullanılabilir. Diğer taraftan, titreşim hasar kriterlerinin göz önüne alınması durumunda, mesafeye bağlı olarak kullanılacak patlayıcı madde miktarının belirlenmesi de söz konusudur.

$$PPV = 278.036 SD^{-1.219} \dots \dots \dots (1)$$

$$r^2 = 0.74$$

PPV : Maksimum parçacık hızı

SD : Ölçekli mesafe



Şekil 2. Yersarsıntısı ölçümlerine çizilmiş SD-PPV grafiği ve %95 tahmin hattı

Çizelge 1. Patlatma bilgileri ve ölçüm sonuçları

No	Toplam P.M (kg)	Gecikme Başına Maksimum P.M. Miktarı (kg)	Ölçüm Mesafesi (m)	Ölçekli Mesafe	Maksimum Parçacık Hızı	
					mm/s	Hz
1	1500	75	161	18.59	6.73	32
2	1500	75	277	31.99	3.94	28
3	1500	75	355	40.99	1.71	100
4	1500	75	132	15.19	8.38	37
5	1500	75	485	55.98	3.18	23
6	1500	75	227	26.17	6.48	17
7	1500	75	411	47.47	2.03	43
8	1500	75	368	42.47	2.29	26
9	1500	75	244	28.18	2.89	57
10	1500	75	275	31.75	4.77	35
56	1500	75	137	15.82	9.08	50
57	1500	75	264	30.48	2.58	23
58	1500	75	273	31.52	8.54	41
59	1500	75	200	23.09	9.38	41
60	1500	75	185	21.36	9.24	25

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında bir taş ocağında yapılan patlatmaların çevresel etkilerinin belirlenmesi ve sonraki patlatmalara ışık tutacak verilerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 10 adet patlatma, değişik mesafelerden 6 adet titreşim ölçer cihaz ile ölçülmüş ve yersarsıntısı değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen 60 adet yersarsıntısı kaydı istatistiksel değerlendirmeye tabi tutulmuş ve 0.74

regresyon katsayısı ile $PPV = 278,036 SD^{1,219}$ şeklinde denklem elde edilmiştir. Bu denklem sayesinde bundan sonra yapılacak patlatmalarda mesafeye bağlı olarak oluşabilecek yersarsıntısı değerlerini tahmin etmek mümkün olacaktır. Aynı zamanda, söz konusu bu istatistiksel sonuçlar yardımıyla mesafeye bağlı olarak kullanılacak gecikme başına patlayıcı madde miktarını da belirlemek mümkündür.

KAYNAKLAR

- Felice JJ (1993) Applications of modelling to reduce vibration and airblast levels. Fourth International symposium on rock fragmentation by blasting, Vienna, 5-8 July 1993.
- Özdemir K, Kahrıman A, Tuncer G, Akgündoğdu A, Elver E, Uçan, ON (2004) Fragmentation assessment using a new image processing technique based on adaptive neuro fuzzy inference systems. Thirtieth annual conference on explosives and blasting technique, 1-4 February 2004, Louisiana, NO, USA, 2004, vol II, pp 181-187.
- 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, Varna, Bulgaria, 9-13 June 2003, 67-75.
- Uysal O, Elevli B, Akcakoca H (2004) Environmentally sensitive drilling and blasting design for a surface mining. 13th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 1-3 September, Wroclaw, Poland.

Bir Taşocağında Titreşim Ölçümüne Dayalı Risk Analizi ve Patlatma Tasarımı

Risk Analysis and Blasting Design Based on the Vibration Measurement in a Quarry

A. Karadoğan, M.C. Özyurt, Ü. Özer, Ü. Kalaycı

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar/İstanbul.

ÖZET Modern hayatın bir sonucu olarak şehir içlerinde büyük inşaat projelerinin yapılması ihtiyacı kaçınılmaz olmaktadır. İnsan yaşam alanlarına yaklaşan hatta iç içe yürütülen bu faaliyetlerde çevresel etkilerin titizlikle değerlendirilmesi gerekmektedir. Patlatma ile çevreye verilen olumsuzlukların en önemlisi yer sarsıntısıdır. Yer sarsıntıları depreme benzer etkiler yapmaktadır. Dolayısı ile oluşan yapı hasarları benzerlik göstermektedirler.

Patlatmadan kaynaklanan çevre problemlerinin bir çoğu yapısal hasarlar üzerine yoğunlaşmakla birlikte hayvancılıkla uğraşılan bölgelerde hayvanların verimlerinin düşmesi ve hatta insanların performanslarının etkilenmesi gibi şikayetler de gündeme getirilmektedir. Gündeme gelen bu haklı veya haksız şikayetler, teknik elemanların uğraşması gereken önemli problemlerinden biri haline gelmiştir. Bu sorunlardan dolayı zaman zaman üretim faaliyetleri aksamakta, hatta işletmeler tazminat ödemek gibi problemlerle karşı karşıya kalmaktadır.

Bu çalışmada, bir taşocağında titreşim ölçümüne dayalı risk analizi ve patlatma tasarımı yapılmıştır.

ABSTRACT As a result of modern life, it is inevitable that the large in-city construction projects need to be done. Environmental impacts need to be evaluated carefully where these activities are conducted inside the living areas. Vibrations are the most important drawback on the environment that are created by blasting and their effects are similar to earthquakes. Consequently, their damage on the structure are similar.

Most of the environmental problems focuses on the structural damage. However, the decrease of the efficiency of animals and even human performance became a current issue around the livestock fields. These justified or unjustified complaints, become one of the most important problem of the technical staff to deal with. These problems delay of production activities, even management are confronted with the restitution.

In this study, risk analysis and blasting design based on vibration measurement in a quarry, is performed.

1 GİRİŞ

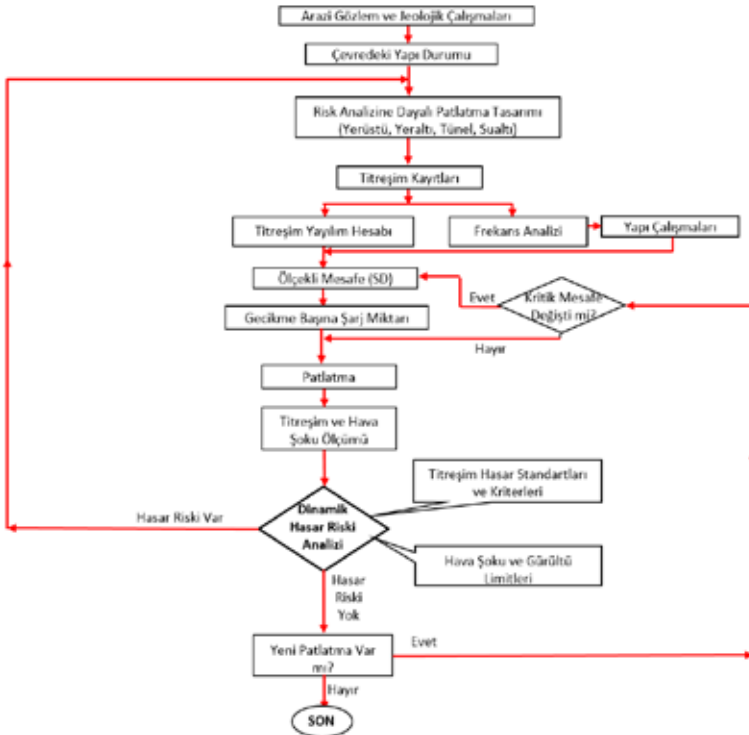
Madencilik çalışmalarının ilk aşamalarından birisi olan patlatma işlemi, kaya kütlelerini kontrollü bir biçimde patlayıcı yardımı ile parçalama işlemidir. Patlatma, daha sonraki madencilik çalışmalarına hazırlık özelliği taşıması bakımından çok önemlidir ve bu özelliğinden dolayı da maliyete etkisi

büyükür. İyi ve güvenilir bir patlatma tasarımı ile; yükleyici ekipmanın verimliliği ve/veya müteakip kullanım açısından arzu edilen parçalanma derecesinde, yeterince kabarmış, kısmen ötelenmiş, gevşek bir yığının elde edilirken; yersarsıntısı, hava şoku, fırlayan kaya gibi çevresel sorunlar

minimize edilir (Kahriman 1999, Özer 2001, Kalaycı 2011).

Genel olarak daha fazla delik delmek ve/veya daha fazla patlayıcı madde kullanmak, delme ve patlatmanın maliyetini artırırken, daha homojen ve daha küçük parça boyutunda bir yığın oluşturulması ihtimalini artıracaktır. Ancak bu şekilde elde edilen bir yığınla ilgili olarak, müteakip işlemlerin maliyetlerinde belirgin bir azalma söz konusu olabilecektir. Bununla birlikte, yalnızca kullanılan patlayıcı maddenin enerjisi artırılabilirse, delik delme ve patlatma işleminde ek bir maliyete gerek kalmaksızın istenen parçalanma elde edilebilecektir. Bu çerçevede, patlatma tasarımında; iki temel soruna yanıt aranmaktadır; özgül şarj ve dilim kalınlığıdır. Bu iki unsurun belirlenmesi durumunda diğer parametreler, bunlara bağlı olarak hesaplanabilmekte ve tasarım tamamlanabilmektedir (Afat 2010).

Patlatma kaynaklı titreşimler, yakın bölgelerde, mesken, sanayi tesisleri ve diğer yapılarla birlikte kaya yapılarına hasarlar verebilir. Oturduğu kaya yapısından daha az sağlam olan herhangi bir bina, dikkatsizce tasarlanmış olan bir atımdan, çok fazla uzak olsa bile, büyük hasarlar görebilir. Bu nedenle, patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin bina ve yapılara olan etkilerinin tahmini, ölçümü ve kontrolü, patlatma optimizasyon faaliyetinin ayrılmaz bir parçası olmak durumundadır. Bu da, patlatma tasarımında yanıt aranacak bir diğer konu olan herhangi bir gecikme aralığında kullanılacak maksimum patlayıcı madde miktarının önceden belirlenmesi ile sağlanabilir (Ceylanoğlu ve Kahriman 1996, Johnston ve Durucan 1994, Kahriman 1999, Kahriman vd. 2015).



Şekil 1. Patlatma Risk Analiz Modeli (Karadoğan 2008)

2. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Araştırma kapsamında; çalışılan sahadaki patlatmalı temel kazısında, atımlarda uygulanan patlatma paternleri, delik düzenleri ve patlayıcı şarjları gözlemlenmiştir.

Atım noktaları ile yer sainsintısı istasyonlarının koordinatları topografik aletlerle, maksimum frekans hızı ile frekans değerleri titreşim ölçer cihazlar ile belirlenmiştir.

Kaydedilen olayların değerlendirilmesi sırasında literatürde yaygın kullanıma sahip maksimum parçacık hızı (PPV) tahmin denklemi kullanılarak, bundan sonra yapılacak atımların oluşturacağı yersarsıntısını önceden tahmin edilmesini sağlayacak formüller verilmiştir. Eşitlik 1'de gösterilen denklem, ölçekli mesafe değerini farklı ifade eden bu tahmin denklemlerinin genel yapısını vermektedir. Eşitlik 2'de ise ölçekli mesafe²'nin hesaplanmasında kullanılan denklem verilmektedir.

$$(PPV = k * SD^{-\beta}) \quad (1)$$

Burada; PPV, maksimum parçacık hızı (mm/sn); SD, ölçekli mesafe; k ve β ise saha sabitlerini ifade eder.

$$(SD = R / W^{0.5}) \quad (2)$$

Burada; SD, ölçekli mesafe; R, mesafe (m); W, gecikme başına düşen maksimum şarj miktarını (kg) ifade eder.

3. ÇALIŞMA SAHASI

Maden Sahası, İstanbul İli Şile İlçesi Üvezli Mahallesi Üvezli Cad. No: 52 Adresinde bulunmaktadır. Söz konusu maden sahasının ruhsat koordinatları Çizelge 1, DSİ 14. Bölge Müdürlüğü'nden görüş talep edilen işletme sahasını kapsayan koordinat değerleri Çizelge 2 ve DSİ 14. Bölge Müdürlüğü'nün 05.12.2014 tarih ve 765695 sayılı görüşünü kapsayan İşletme Sahası-1

Çizelge 3'te, İşletme Sahası-2 Çizelge 4'te, Pasa Döküm Sahası koordinatları ise Çizelge 5'te verilmiştir.

Söz konusu maden sahasının ruhsat alanı, işletme izin alanı, orman izin alanı ve çevre bölgenin genel görünümü Şekil 2'deki planda gösterilmiştir.

Çizelge 1. Ruhsat Koordinatları

Nokta No	Koordinatlar	
	Y	X
R1	705293	4552841
R2	704950	4552175
R3	704175	4552500
R4	704451	4553000
R5	705126	4553000
R6	705075	4552935

Çizelge 2. DSİ 14. Bölge Müdürlüğü'nden Görüş Talep Edilen İşletme Sahasını Kapsayan Koordinat Değerleri

Nokta No	Koordinatlar	
	Y	X
TLP1	704306	4552737
TLP2	704577	4552586
TLP3	704518	4552356
TLP4	704307	4552445

Çizelge 3. İşletme Sahası-1 (28370.79 m²)

Nokta No	Koordinatlar	
	Y	X
S1/1	704451	4553000
S1/2	704581	4553000
S1/3	704589	4552920
S1/4	704601	4552883
S1/5	704585	4552878
S1/5	704574	4552912
S1/7	704444	4552912
S1/8	704324	4552732
S1/9	704513	4552710
S1/10	704501	4552629
S1/11	704306	4552737

Çizelge 4. İşletme Sahası-2 (3528.81 m²)

Nokta No	Koordinatlar	
	Y	X
S2/1	704616	4552837
S2/2	704677	4552647
S2/3	704643	4552650
S2/4	704645	4552695
S2/5	704600	4552830

Çizelge 5. Pasa Döküm Sahası (5129.95 m²)

Nokta No	Koordinatlar	
	Y	X
P1/1	704595	4552646
P1/2	704643	4552643
P1/3	704672	4552640
P1/4	704638	4552553
P1/5	704590	4552580

Çalışma alanı ve çevresinde Mesozoyik ve Senozoyik birimleri yüzeylenmektedir. Söz konusu ruhsat sahasının Güney ve Güneydoğusunda kalan alan alanda Ballıkaya dolomitik kireçtaşları ve çakıl ve kumlu birimlerden oluşan Meşetepe formasyonu yüzeylenmektedir. Kuzeybatısında ise Çakıltaşı, kumtaşlarından oluşan Kapaklı formasyonu bulunmaktadır.

4. ÇALIŞMA METODOLOJİSİ

Söz konusu maden sahasında gerçekleştirilecek patlatmalı kazıların çevredeki yerleşim birimlerinde ve Melen Hattı'nda hasarlara neden olmayacak şekilde risk analizine dayalı patlatmalı kazı ön tasarımının yapılması amacıyla, söz konusu sahada yapılan patlatmalarda titreşim ve hava şoku ölçümleri yapılmıştır.

Patlatmalı kazı çalışmaları sırasında araştırma ekibi tarafından 3 adet atım izlenmiştir (Çizelge 6). Her bir atımdaki titreşim ölçümleri, 10 adet Minimate Plus Patlatma Titreşim Ölçer Cihazı ile yapılmıştır. Titreşim ölçer cihazları, söz konusu atım noktaları çevresinde ocak içerisinde ve ocak çevresinde Melen Hattı ve Üvezli Mahallesi yönlerinde muhtelif uzaklıklarda belirlenen ölçüm istasyonlarına sistematik bir şekilde yerleştirilmiştir. Atım noktaları (Çizelge 7) ile yer sarsıntısı ölçüm istasyonları (Çizelge 8) arasındaki mesafeler ise topografik cihazlar kullanılarak belirlenmiştir. Atım ve ölçüm istasyonlarının konumları Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. İşletme Ruhsat Alanı, İşletme Sahası, Çevre Bölgenin Genel Görünümü ve Riskli Yapılara Olan Uzaklıklar (Özer vd. 2016)

Çizelge 6. İzlenen 3 Atıma Ait Tasarım Parametreleri

Atım No	A1	A2	A3
Delik Sayısı	3	2	1
Delik Çapı, d (mm)	76	76	76
Delik Eğimi, α ($^{\circ}$)	90	90	90
Basamak Yüksekliği K (m)	4,5-5	5-6	5-6
Sıra Sayısı	1	1	1
Delik Boyu, H (m)	7	7	7
Dilim Kalınlığı, B (m)	2,5	2,5	2,5
Deliklerarası Mesafe, S (m)	2,5	2,5	-
Sıklama, h_0 (m)	2	2	2
Şarj Şekli	Kolon	Kolon	Kolon
Kullanılan Yemleyici	Powergel Magnum	Powergel Magnum	Powergel Magnum
Esas Patlayıcı Madde	Powergel 650	Powergel 650	Powergel 650
Toplam Şarj, Q (kg)	61,5	41	20,5
Gecikme Başına Top, Şarj	61,5	41	20,5
Kullanılan Kapsül Tipi	Elektriksiz Kapsül	Elektriksiz Kapsül	Elektriksiz Kapsül



Şekil 3. Atım ve Ölçüm İstasyon Noktalarının Koordinatları

Çizelge 7. Atım Noktalarının Koordinatları

Atım No	Atım Noktası Koordinatları		
	Y	X	Z
A1	513420	4194247	788
A2	513403	4194314	787
A3	513487	4194327	850

Çizelge 8. Ölçüm İstasyon Noktalarının Koordinatları

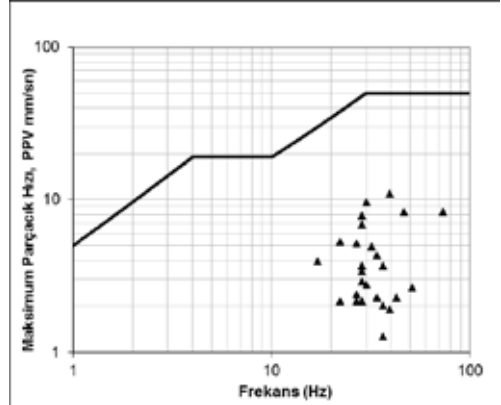
İstasyon No	Kullanılan Titreşim Ölçer ve Seri No	İstasyon Noktası Koordinatları		
		Y	X	Z
İ1	BE5724	704508	4552787	127
İ2	BE10773	704508	4552804	128
İ3	BE10772	04501	4552840	130
İ4	BE10704	704487	4552910	126
İ5	BE10705	704440	4552850	128
İ6	BE10706	704425	4552905	128
İ7	BE10687	704356	4552749	110
İ8	BE10708	704320	4552762	130
İ9	BE10771	704345	4552800	130
İ10	BE10709	704386	4552860	130

4.1. Patlatma Kaynaklı Titreşim ve Hava Şoku Analizi

Araştırmada izlenen 3 adet atıma ait toplam 26 adet olay kaydedilmiştir. Ölçülen 26 adet olaya ait maksimum parçacık hızı, frekans ve hava şoku değerleri Çizelge 9’da sunulmuştur.

Araştırma kapsamında; titreşim ve hava şoku ölçümü yapılan sınırlı sayıdaki atımlarda, cihazın kaydettiği değerlerin; çevredeki tesis ve yapılara etki derecelerini tahmin ve mukayese etmek amacıyla, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” (URL1) Norm’una göre toplu halde Şekil 4’te değerlendirilmiştir.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği normuna göre, çalışma esnasında yapılan atımların, gerek çok uzaktaki yerleşim birimleri gerekse atıma yakın seçilen diğer istasyonlarda bile herhangi bir hasar riski taşımadığı anlaşılmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Kaydedilen maksimum parçacık hızı ve frekansların T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği’ne göre yorumu

Hava şoku açısından durum değerlendirildiğinde ise, ölçüm istasyonlarına yerleştirilen cihazların kaydettiği değerler 114-124,2 dB aralığında çıkmıştır. Dolayısı ile ölçülen hava şoku değerlerinin sahaya en yakın yerleşim birimi olan Üvezli Mahallesi’nde rahatsızlık ve hasar yaratma riski taşımayacağı anlaşılmıştır.

4.2. Parçacık Hızı Denklemi

Parçacık hızı tahmini için, gecikme başına düşen maksimum patlayıcı madde miktarı ve atım mesafesi dikkate alınarak türetilen ölçekli mesafe ile parçacık hızı verileri arasındaki ilişki incelenmiştir (Şekil 5).

Yapılan regresyon analizi sonucunda, bölgede yapılacak kontrollü patlatma tasarımlarında, parçacık hızı tahmininde kullanılacak çalışma sahasının sabitlerini veren titreşim yayılım denklemi elde edilmiştir (Eşitlik 3 ve 4).

$$\% 50 \text{ Ortalama Tahmin Denklemi} \\ PPV = 51.58 \times SD^{-0,873} \quad (r = 0,72) \quad (3)$$

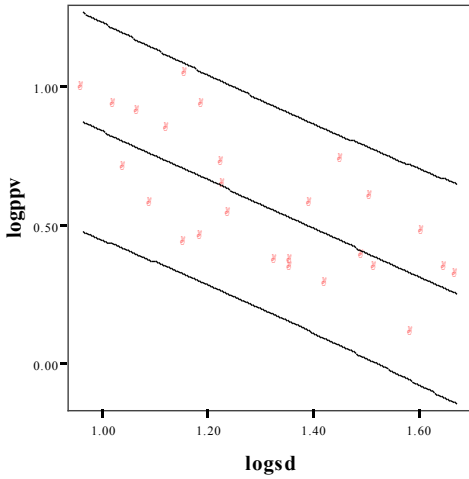
$$\% 95 \text{ Üst Tahmin Hattı Denklemi} \\ PPV = 123.03 \times SD^{-0,873} \quad (r = 1) \quad (4)$$

Çizelge 9. Titreşim Kaydı

Atım No	Titreşim Ölçer Seri No	Maks. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Frekans (f) (Hz)	Hava Şoku dB	Toplam Şarj (kg)	Gecikme Başına Top,Şarj (W) (kg)	Mesafe (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD)	İstasyon No
A1	BE5724	4,953	32	124,2	61,5	61,5	87	11,04	İ1
	BE10773	3,683	36,57	121,3	61,5	61,5	97	12,40	İ2
	BE10772	2,794	30,12	117,2	61,5	61,5	121	15,39	İ3
	BE10704	2,286	34,13	114	61,5	61,5	179	22,77	İ4
	BE10705	2,667	51,2	**	61,5	61,5	112	14,34	İ5
	BE10706	2,286	42,67	117,5	61,5	61,5	167	21,36	İ6
	BE10687	8,382	73,14	**	61,5	61,5	83	10,53	İ7
	BE10708	8,382	46,55	124	61,5	61,5	122	15,54	İ8
	BE10771	10,92	39,38	125,6	61,5	61,5	113	14,41	İ9
	BE10709	4,318	34,13	123,6	61,5	61,5	133	16,99	İ10
A2	BE5724	9,652	30,12	129,8	41	41	59	9,18	İ1
	BE10773	7,874	28,44	127,4	41	41	75	11,73	İ2
	BE10772	3,429	28,44	122,9	41	41	112	17,44	İ3
	BE10704	5,334	22,26	116,6	41	41	182	28,48	İ4
	BE10705	2,159	22,26	**	41	41	146	22,80	İ5
	BE10706	2,413	26,95	117,8	41	41	200	31,27	İ6
	BE10687	1,905	39,38	**	41	41	170	26,54	İ7
	BE10708	3,937	17,07	119,9	41	41	208	32,44	İ8
	BE10771	*	*	*	41	41	193	30,14	İ9
	BE10709	*	*	*	41	41	190	29,60	İ10
A3	BE5724	6,858	28,44	129,4	20,5	20,5	60	135	İ1
	BE10773	5,207	26,95	125,5	20,5	20,5	76	16,87	İ2
	BE10772	3,683	28,44	122,3	20,5	20,5	113	24,92	İ3
	BE10704	2,921	28,44	115,4	20,5	20,5	183	40,52	İ4
	BE10705	2,159	26,95	**	20,5	20,5	149	32,90	İ5
	BE10706	2,159	28,44	117,5	20,5	20,5	203	44,79	İ6
	BE10687	1,27	36,57	**	20,5	20,5	175	38,63	İ7
	BE10708	2,032	36,57	123,2	20,5	20,5	213	46,97	İ8
	BE10771	*	*	*	20,5	20,5	198	43,66	İ9
	BE10709	*	*	*	20,5	20,5	193	42,68	İ10

* Yeterli genlikte sismik dalga oluşmadığından ve cihaz trigger seviyesi olan 0,5 mm/sn'nin altında kaldığı için kayıt alınmamıştır.

** Mikrofon bağlanmamıştır.



Şekil 5. Ölçekli Mesafe ile Parçacık Hızı Arasındaki İlişki

Eşitlik 3 ve 4 kullanılarak bir gecikme aralığında patlatılabilecek maksimum patlayıcı miktarı Çizelge 10’da verilmiştir.

Çizelge 10. Gecikme Başına Düşen Maksimum Patlayıcı Miktarı

Riskli Noktaya Mesafe (m)	Gecikme Başına Düşen Maksimum Patlayıcı Miktarı (kg)	
	%50 Ort. Tahmin Denklemine Göre	%95 Ort. Tahmin Denklemine Göre
50	253,7	34,6
100	1014,7	138,5
200	2283	311,6
300	4059	554
400	16235,7	1246,5
500	25368,3	2216,0
727	53631,5	7320
1000	101473	13850

Maden sahasına en yakın riskli noktanın 727 metre mesafede olduğu göz önünde bulundurulduğunda, basamak yüksekliğinin arttırılabileceği anlaşılmıştır. Böylece, üretim kapasitesi de artacaktır.

4.3. Önerilen Patlatma Tasarımı

Söz konusu maden sahasında yapılacak patlatmalı kazıların, ruhsat sahasına en yakın 727 m mesafeden geçen Melen Hattı’nda ve Üvezli Mahallesi’ndeki yapılarda hasarlara neden olabilecek seviyelerde olup

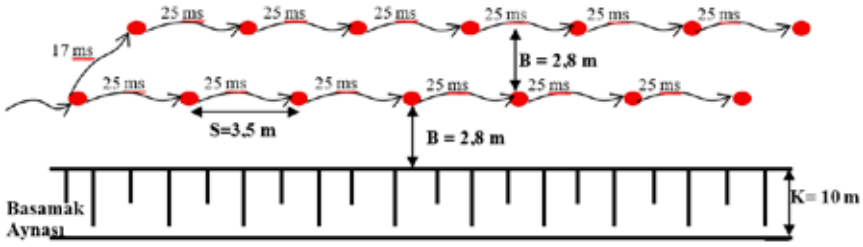
olamayacağı konusunda, yapılan risk analizi dikkate alınarak, söz konusu saha için bir patlatma ön tasarım modeli önerilmiştir. Tasarım modelinde;

- Faaliyetin kapasitesi, yerel tedarik ve depolama olanakları ve firma koşulları dikkate alınarak, patlayıcı madde olarak ANFO seçilmiştir. Ancak, patlatma deliklerinde su bulunması durumunda, yemlemeye duyarlı emülsiyon tipi patlayıcı önerilmiştir.
- Yemleyici olarak, delik çapına uygun ve uzunluğu çapın iki katı kadar olan uygun nitelikli patlayıcı önerilmiştir.
- Ateşlemenin ise, söz konusu bölgenin iklim koşulları da düşünüldüğünde iş emniyeti açısından elektriksiz kapsüller ile gecikmeli yapılması hedeflenmiştir.
- Önerilen patlatma tasarımında her deliğin ayrı ayrı patlatılacağı düşünülmüştür. Dolayısıyla da gecikme başına düşen şarjın en azda tutulmasına özen gösterilmiştir. Bu nedenle, modelde tek sıralı atım yapılabileceği gibi çok sıralı atımlar da uygulanabilir.
- Atımlarda, enerjinin sismik dalgaya dönüşmeden ve çevresel etkiler yaratmayacak şekilde kırmada kullanımını temin bakımından, “Kontrollü Basamak Patlatması” öngörülmüştür. Basamak yüksekliğinin belirlenmesinde, kullanılacak yükleyici makinaların boom uzunluğu ve kepçe kapasiteleri dikkate alınmıştır.

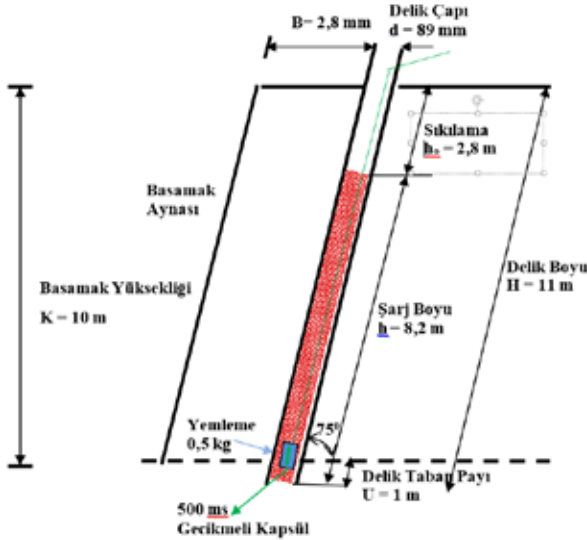
Enerjinin kırma ve ötelenmede kullanılmasını temin amacıyla eğik delik uygulaması düşünülmüştür. Yukarıda verilen bilgilere ek olarak, Risk analizine bağlı olarak geliştirilen ve sahanın genelinde uygulanacak patlatma ön tasarım parametreleri Çizelge 11’de ve Şekil 6a ve b’de verilmiştir.

Çizelge 11. Şirket şartlarına göre sahanın genelinde uygulanabilecek önerilen basamak patlatma ön tasarım modeli

Tasarım Parametreleri	Sembol ve Birim	Değer
Basamak yüksekliği	K (m)	10
Delik çapı	d (mm)	89
Delik Eğimi	(⁰)	75
Dilim Kalınlığı	B (m)	2,8
Deliklerarası Mesafe	S (m)	3,5
Delik Taban Payı	U (m)	1
Delik Boyu	H (m)	11
Sıkılama	h_0 (m)	2,8
Şarj Konsantrasyonu	l_b (kg/m)	5,6
Şarj Boyu	h (m)	8,2
Bir Delikteki Şarj Miktarı	Q (kg)	46
Gecikme Başına Şarj Miktarı	W (kg)	46
Özgül Delme (b)	b (m^3/m^3)	0,13
Özgül Şarj	q (kg/m^3)	0,53



Şekil 6-a. Önerilen Patlatma Tasarım Modeli (Plan Üzerinde)



Şekil 6-a. Önerilen Patlatma Tasarım Modeli (Kesit Üzerinde)

5. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, söz konusu sahanın titreşim yayılım formülünün bulunabilmesi ve titreşim ve hava şoklarının çevresel etkisinin analizi için, 3 atım izlenmiş ve titreşim ve hava şoku ölçümleri araştırma ekibi tarafından yapılmıştır. İzlenen atımlara ait patern bilgileri Çizelge 6'da verilmiştir.

Titreşim ve hava şoku ölçümleri 10 adet Titreşim Ölçer Cihazı ile yapılmıştır. Titreşim ölçer cihazları, söz konusu atım noktaları çevresinde ocak içerisinde ve ocak çevresinde Melen Hattı ve Üvezli Mahallesi yönlerinde muhtelif uzaklıklarda belirlenen ölçüm istasyonlarına sistematik bir şekilde yerleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan 3 atıma ait toplam 26 olay cihazlar tarafından ölçülmüştür.

Araştırma kapsamında; titreşim ve hava şoku ölçümü yapılan sınırlı sayıdaki atımlarda, cihazın kaydettiği değerlerin; çevredeki tesis ve yapılara etki derecelerini tahmin ve mukayese etmek amacıyla, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği"ne göre toplu halde değerlendirilmiştir. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği normuna göre, çalışma esnasında yapılan atımların, gerek çok uzaktaki yerleşim birimleri gerekse atıma yakın seçilen diğer istasyonlarda bile herhangi bir hasar riski taşımadığı anlaşılmaktadır.

Hava şoku açısından durum değerlendirildiğinde ise, ölçüm istasyonlarına yerleştirilen cihazların kaydettiği değerler 114 - 124,2 dB aralığında çıkmıştır. Dolayısı ile ölçülen hava şoku değerlerinin sahaya en yakın yerleşim birimi olan Üvezli Mahallesi'nde rahatsızlık ve hasar yaratma riski taşımayacağı anlaşılmıştır.

Söz konusu maden sahasında gerçekleştirilecek patlatmalı kazıların çevredeki yerleşim birimlerinde ve Melen

Hattı'nda hasarlara neden olup olamayacağı konusunda, sahada izlenen 3 atımın ölçüm sonuçlarının analizi sonucunda elde edilen söz konusu sahanın özgün titreşim yayılımının trendini veren ilişkinin formülü kullanılarak risk analizi yapılmıştır. Hasar limitine göre tahmin edilen gecikme başına kullanılacak en yüksek patlayıcı madde miktarları incelendiğinde, söz konusu saha için uygulanması düşünülen genel patlatma ön tasarım modelinde belirlenen 46 kg'lık gecikme başına kullanılacak şarj miktarı Melen Hattı ve Üvezli Mahallesi mesafelerinde hasar başlangıç sınırının geçilmemesi için kullanılacak maksimum şarj miktarlarından çok daha düşüktür. Söz konusu ruhsat alanı içerisinde bulunan ocak için önerilen patlatma tasarımının, yukarıda belirlenen hususlara uyularak yapılması durumunda, çevresel riskler elimine edilebilir düzeydedir.

Söz konusu sahada yapılacak patlatmalı kazılar için, yapılan risk analizi dikkate alınarak, Çizelge 11'de özetlenen ve Şekil 6-a ve b'de gösterilen bir patlatma tasarım modeli önerilmiştir.

Önerilen patlatma tasarımında her deliğin ayrı ayrı patlatılacağı düşünülmüştür. Dolayısıyla da gecikme başına düşen şarjın en azda tutulmasına özen gösterilmiştir. Bu nedenle, modelde tek sıralı atım yapılabileceği gibi çok sıralı atımlarda uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Afat, A., 2010, "Adana-Yumurtalık Bölgesinde Sanayi Yapıları İçin Kızıldere Formasyonunda Patlatma-Kazı İşlemleri", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üni. Fen Bilimleri Ens.
- Ceylanoğlu, A., Kahriman, A., 1996, "Measurement and Analysis of Ground Vibration Induced by Bench Blasting in a Celestite Open-Pit Mine in Turkey", 4th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, October 7-11, Volume 1, s 283-290, Italy.
- Johnstone, G.J., Durucan, Ş., 1994, "The Numerical Prediction, Analysis and Modelling of Ground

- Vibration Induced by Blasting”, 3th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 18-20 October, Istanbul.
- Kahriman, A., 1999, “Açık Maden ve Taş Ocaklarında Kaya Patlatma Teknolojisi”, Eğitim Semineri
- Kahriman A., Çeltikçi A., Bağdatlı S., Ocak İ., Özdemir A., Sefer İ., Sağlam R., 2015, “Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Odayeri-Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Kesimi” Ömerli Köyü Kalker Ocağında Yapılan Açık Ocak Patlatmalarının Çevresel Hasar Riski Açısından Analizi”, 8. Delme Patlatma Sempozyumu, 19-20 Kasım 2015, İstanbul.
- Kalaycı, Ü. 2011, ‘Patlatmada Harcanan Faydalı Enerji İle Patlatma Verimi Arasındaki İlişkinin Araştırılması’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üni.
- Karadoğan, A., Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması (Doktora Tezi) İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi (2008).
- Özer, Ü., 2001, “Patlatma Kinematığının Araştırılması ve Patlatma Simülasyonu”, Doktora Tezi, Çukurova Üni.
- Özer, Ü., Karadoğan, A., Özyurt, M.C., 2016, “İstanbul İli Şile İlçesi Üvezli Mahallesi Üvezli Cad. No: 52 Adresinde İR: 28048 Ruhsat Numaralı Maden Sahasında Gerçekleştirilecek Patlatmalı Kazı İşİ Kapsamında Risk Analizine Dayalı Patlatmalı Kazı Ön Tasarımı”, İstanbul Üni. Müh. Fak. Döner Sermaye Projesi. İstanbul.
- URL1: www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/11/20151118-4.htm

Patlatma Kaynaklı Sarsıntı ve Gürültü Analizi için Bir Bilgisayar Programı Geliştirilmesi ve Kırmataş Ocağı Uygulaması

Development of a Computer Program for Analysis of Vibration and Noise Caused by Blasting and Aggregate Pit Operation

E. Kazan, S. Sülünbaş

AFA Teknoloji ARGE Müh. San. Tic. Ltd. Şti., Kütahya

S. Ercins

Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas MYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Blm., Sivas

H. Akçakoca

Dumlupınar Üniversitesi., Müh. Fak., Maden Müh. Blm., Kütahya

ÖZET Bu çalışmada, patlatma uygulamalarının neden olduğu çevresel sorunlardan olan yer sarsıntısı ve gürültünün çevresel etkilerinin analizi ve değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen bir bilgisayar programının tanıtımı ve uygulaması yapılmıştır. Bilgisayar programı, yapılan patlatma işlemlerine ait titreşim ölçümlerine regresyon analizi uygulayarak saha sabitlerine ulaşmakta ve bu sabitlerle ilişkili olan %95 ve %50 tahmin limitli denklemleri elde etmektedir. Bu denklemlere ait olan doğru grafiklerini oluşturarak kontrollü ve verimli patlatma tasarımı için gerekli olan değerleri hesaplamaktadır. Yapılan analiz sonuçları ile yönetmeliklerde müsaade edilen en yüksek parçacık hızı sınır değerleri için gecikme başına kullanılabilecek maksimum patlayıcı miktarlarını içeren tabloları ve çeşitli hasar kriterlerine göre grafik çıktılarını oluşturabilmektedir. Elde edilen bu değerler ile saha durum tespiti yapılması ve ilgili sahada ileride yapılacak olan patlatma uygulamalarının kontrolü için tahmini değerlere ulaşabilmektedir. Aynı zamanda sahada ölçülen gürültü verilerinin yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlere göre değerlendirmesini yapabilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Patlatma, çevresel sorun, bilgisayar programı, regresyon analizi

ABSTRACT In this study, the environmental problems caused by ground vibration of blasting applications and analysis and evaluation of the environmental impact of noise in order to promote the development of a computer program and application is made. Program, applying regression analysis to measure the vibration of blasting operations in the field to reach the hard and to achieve 95% and 50% limit of the estimated equations that are associated with this hard. For efficient and controlled blasting design by creating accurate graphics that belong to this equation calculates the value required. The analysis results with the regulations in force in the highest particle velocity with the maximum allowable amount of explosives that can be used per table limit values for delay and damage according to various criteria can create graphical output. The resulting court case made the determination to reach these values and the estimated value for the control of blasting applications which will be held later in the relevant field. At the same time the measured noise data in the field is to make an assessment in accordance with the limits specified in the regulations.

Key words: Blasting, environmental problems, software, regression analysis

1 GİRİŞ

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının çevre yerleşim yerlerine olan etkilerinin belirlenmesi ve bu etkilerin minimize edilmesinde en çok kullanılan ve kabul gören yöntem olarak, sarsıntı ölçüm cihazlarıyla parçacık hızlarının belirlenmesi, patlatma ile ölçüm alınan yer arasındaki mesafe için saha katsayılarının saptanması, sarsıntının yayılma davranışını belirleyen denklemlerin bulunması ve bu denklemler kullanılarak yapılan patlatmalar için mesafeye bağlı olarak tek seferde güvenle kullanılabilen gecikme başına en yüksek patlayıcı madde miktarlarının belirlenmesidir (Bollinger, 1971; Siskind vd., 1980; Dowding, 1985; Siskind vd., 1989; Siskind, 2000; Chen ve Huang, 2001; Tripathy ve Gupta, 2002; Aldaş vd., 2009).

Literatürde patlatma kaynaklı sarsıntı analizi işlemleri için önerilen ölçekli mesafe (SD) eşitliği, maksimum parçacık hızı (PPV) tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ölçekli mesafe, patlatma ve ölçüm noktası arasındaki mesafeyi ve gecikme başına kullanılan maksimum patlayıcı madde miktarını göz önüne alan bir değerdir ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır (Dowding, 1985).

$$SD = R / \sqrt{W} \quad (1)$$

Burada;

SD: Ölçekli mesafe

R: Patlatma ve ölçüm noktası arasındaki mesafe (m)

W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

Patlatma sonrasında meydana gelen yer sarsıntılarının tahmin edilmesine yönelik pek çok araştırmacı tarafından önerilen eşitlikler bulunmaktadır. Literatürde en çok kabul edilen ve kullanılan ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızı tahminine yönelik geliştirilen formül aşağıda verilmiştir (Siskind vd., 1980; Nicholls vd., 1971).

$$PPV = k \times (SD)^{-\beta} \quad (2)$$

Burada;

PPV: En yüksek parçacık hızı (mm/sn)

k: Ölçüm yapılan kayanın sarsıntı iletim katsayısı (Yer iletim katsayısı)

β : Kayanın sönümlenme katsayısı (Jeolojik sabit)

SD: Ölçekli mesafe (m)

Eşitlikte belirtilen k ve β katsayıları, sahada yapılan patlatmalarda sarsıntı ölçüm cihazlarından elde edilen parçacık hızları ve uygulanan patlatma verilerinin (gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı, ölçüm mesafesi vb.) istatistiksel analizleri sonucunda belirlenebilmektedir.

Patlatma kaynaklı sarsıntı analizi işlemleri, zaman alıcı ve dikkat gerektiren bir dizi sıralı işlemlerin yapılması sonucunda gerçekleştirilmektedir. Bunun nedeni belirlenmesi gereken saha sabitlerinin tespitinin güç olması ve birçok istatistiksel işlem gerektirmesidir. Bu işlemlerden olan regresyon analizi istatistik paket programları ile de yapılabilmektedir. Ancak regresyon analizlerinin paket programlarla yapılabilmesi için sarsıntı analizinde kullanılacak formüllerinin birkaç sıralı işlemde geçirilerek regresyon işlemine uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca saha sabitleri hesaplanmasından sonra yine bir dizi işlem sonucunda, elde edilen saha sabitlerinin tekrar formüllere yerleştirilerek sonuçların elde edilmesi zaman alıcı ve uğraştırıcı bir işlemdir. Tüm bu sebeplerden dolayı, saha sabitlerini regresyon analizi ile tespit edilmesi, kullanılması gereken maksimum patlayıcı miktarlarının mesafeye göre hesaplanması ve standartlara uygun grafik çıktıları oluşturabilme işlemlerini tek başına yapabilen madencilik uygulamalarına özel bir paket programın kullanılması bu konu hakkında çalışma yapan araştırmacıların işlerini kolaylaştırmakta ve hata payını neredeyse sıfırlamaktadır.

Bu çalışmada, patlatma kaynaklı sarsıntı ve gürültü analizi için geliştirilen yazılımın tanıtımı ve bir kırmataş ocağında yapılan uygulaması anlatılmıştır.

2 UYGULANAN YÖNTEM

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının kontrolü amacıyla yapılacak çalışmalarda, ilgili sahada ölçülen parçacık hızının ölçekli mesafeye karşılık gelen parçacık hızı tahmini için; saha spesifik hız yaklaşımını veren azalan bir eğri denkleminin bulunması gerekir. Bu işlem için sahadan alınan titreşim verilerinin istatistiksel analizi gereklidir. Bu tür çalışmalarda çoğunlukla kullanılan istatistiksel analiz teknikleri en küçük kareler metodu üzerine kurulmaktadır (İnal vd. 1983; Kahrıman vd., 2001). Eşitlik 2’de değinilen parçacık hızı tahmin denkleminde yer alan saha sabitleri, ölçülen en yüksek parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin ilişkilendirilmesi sonucunda belirlenmektedir. Bu ilişkinin saptanması için yapılan istatistiksel değerlendirmenin güvenilirliği için en az 30 hatta daha fazla ölçüm verisi önerilmektedir. İstatistiksel açıdan yeterli veri çiftiyle yapılan bir değerlendirme sonucu elde edilen parçacık hızı tahmin denkleminin güvenilirliğini artırmak için %95 güven seviyesine uyum göstermesi gereklidir. Eşitliğin güvenilir olabilmesi için korelasyon katsayısının 0.70’den daha küçük olmaması gerekir (Kahrıman vd., 2001). Ayrıca güven aralığının doğruluğunun tespiti amacıyla kullanılan standart sapma değerinin mümkün olduğu kadar sıfır değerine yakın olması önemli bir ayrıntıdır (Costa e Silva vd. 1996). Böylelikle herhangi bir saha için güvenilirlik düzeyi yüksek olan istatistiksel değerlendirmeler sonucu ortaya konulan tahmin denklemleri ile kontrollü patlatma tasarım ve uygulamaları için titreşim ölçüm cihazlarının olmadığı durumlarda; pratik tabloların oluşturulması ile uygulayıcılara büyük kolaylıklar sağlanabilmektedir (Kahrıman vd., 2001).

Saha sabitlerinin belirlenmesinde güvenilir sonuçlar veren ve bilgisayar programına en kolay aktarılacak olan yöntem, regresyon analizleri ile saha sabitlerinin tespit edilmesidir. Bu nedenle, bu çalışmada, geliştirilen bilgisayar programında, gerekli olan saha sabitlerine ulaşabilmek için, regresyon analiz yöntemi kullanılmaktadır.

2.1 Çalışmada Kullanılan Regresyon Modeli

Bu çalışmada, Eşitlik 2’de verilen maksimum parçacık hızı tahmin formülü kullanılmıştır. Bu eşitlik, basit regresyon metodunun üs (power) modeline uygundur. Üs regresyonu denklemini aşağıdaki gibidir (<http://mathworld.wolfram.com/LeastSquareSFittingPowerLaw.html>).

$$Y = AX^B \quad (3)$$

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n (\ln x_i \ln y_i) - \sum_{i=1}^n (\ln x_i) \sum_{i=1}^n (\ln y_i)}{n \sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n (\ln x_i))^2} \quad (4)$$

$$A = e^{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (\ln y_i) - b \sum_{i=1}^n (\ln x_i)}{n} \right)} \quad (5)$$

Burada;

Y: Bağımlı değişken

X: Bağımsız değişken

B ve A: Sabit sayı

n: Örnek sayısı

2.2 %50 Tahmin Denkleminin Elde Edilmesi ve Sabitlerin Bulunması

Eşitlik 2’de verilen maksimum parçacık hızı tahminine yönelik geliştirilen formül regresyon analizi ile uyumluluk sağlaması ve formüllerde bulunan k ve β saha sabitlerinin belirlenebilmesi için üssel durumdaki tahmin eşitliği, logaritmik dönüşümlerle doğrusal (linear) hale dönüştürülmesi gerekir. Formüllerde yer alan SD ve PPV bilinen değişkenlerdir.

Bu işlem iki farklı yöntemle yapılabilmektedir. Birinci yöntem olarak; bir önceki bölümde anlatılan üs regresyonu eşitliklerine aşağıdaki şekilde değişken isimleri değişikliği uygulanırsa;

$$\ln x = \ln(sd_i) \quad (6)$$

$$\ln y = \ln(ppv_i) \quad (7)$$

$$B = \beta \quad (8)$$

$$A = k \quad (9)$$

İşlemler uygulanıp formüllerde yerlerine konulursa aşağıdaki eşitlikler elde edilir;

$$\beta = \frac{n \sum_{i=1}^n (\ln sd_i \ln ppv_i) - \sum_{i=1}^n (\ln sd_i) \sum_{i=1}^n (\ln ppv_i)}{n \sum_{i=1}^n (\ln sd_i)^2 - (\sum_{i=1}^n (\ln sd_i))^2} \quad (10)$$

$$k = e^{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (\ln ppv_i) - \beta \sum_{i=1}^n (\ln sd_i)}{n}\right)} \quad (11)$$

Burada;

β : %50 tahmin denkleminin Jeolojik sabiti
 k: %50 tahmin denkleminin yer iletim katsayısı
 n: Ölçüm sayısı

İkinci yöntemde ise; aşağıdaki dönüşümler yapılarak doğrusal regresyon modeli denklemi üzerinden üs regresyonu modeli uygulanabilmektedir (Pepper vd., 2000).

$$z_i = \log(ppv_i) \quad (12)$$

$$w_i = \log(sd_i) \quad (13)$$

z_i ve w_i , doğrusal regresyon denkleminde yerlerine konulursa log-log uzayında en uygun doğru denklemini (%50 tahmin hattı) verir.

$$z = c + dw \quad (14)$$

Burada;

c: sabit sayı

d: doğrunun eğimi

2.3 %95 Tahmin Denkleminin Elde Edilmesi ve Sabitlerin Bulunması

Sarsıntı analizinin daha güvenilir olabilmesi için %95 tahmin limiti elde edilmelidir. Bu işlem %50 tahmin denklemini üzerine uygulanıp bir dizi sıralı istatistiksel yöntemler ile yapılmaktadır. %95 tahmin sınırını belirlemek için yukarıdaki bölümde anlatılan doğrusal regresyon ifadeleri kullanılarak aşağıdaki üç adet yardımcı değer hesaplanmalıdır (Pepper vd., 2000).

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (z_i - \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n})^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n (w_i - \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{n}))(z_i - \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n})^2}{\sum_{i=1}^n (w_i - \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{n})^2}}{n-2} \quad (15)$$

$$WSS = \sum_{i=1}^n (w_i - \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{n})^2 \quad (16)$$

$$SE = \sqrt{MSE \left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(w_i - \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{n})^2}{WSS} \right]} \quad (17)$$

Burada;

MSE (Mean Squared Error): Ortalama karesel hata

WSS (Sum of Squares): Kareler toplamı

SE (Standart Error) : Standart hata

n: Ölçüm sayısı

Yukarıdaki değerler hesaplandıktan sonra, %95 tahmin denklemine aşağıdaki formül ile ulaşılır;

$$\dot{U}L = 10^{(\log k + \beta w_i + t SE)} \quad (18)$$

Burada;

$\dot{U}L$: %95 tahmin denkleminin bağımlı değişken değeri

t: Ölçüm sayısına bağlı t-dağılımı değeri

SE: Standart hata

k, β : Saha sabitleri (%50 tahmin denkleminde elde edilen sabitler)

%95 tahmin denkleminin sabitlerinin bulunması;

$$\beta = \frac{n \sum_{i=1}^n (\ln sd_i \ln \dot{U}L_i) - (\sum_{i=1}^n \ln sd_i) (\sum_{i=1}^n \ln \dot{U}L_i)}{n \sum_{i=1}^n (\ln sd_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \ln sd_i)^2} \quad (19)$$

$$k = e^{\frac{\sum_{i=1}^n \ln \dot{U}L_i - \beta \sum_{i=1}^n \ln sd_i}{n}} \quad (20)$$

Burada;

β : %95 tahmin denkleminin Jeolojik sabiti

k: %95 tahmin denkleminin yer iletim katsayısı

n: Ölçüm sayısı

$\dot{U}L$: %95 tahmin denkleminin bağımlı değişken değeri

2.4 Sınır parçacık hızı değerleri için gecikme başına kullanılabilir maksimum patlayıcı madde miktarlarının hesaplanması

Kontrollü patlatma tasarımı için gerekli olan gecikme başına kullanılabilir en yüksek patlayıcı miktarlarının tahmin edilmesi için Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 kullanılarak birkaç sıralı işlem sonucunda yeni bir eşitlik elde edilmesi gerekir. Bu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$W = \left(\frac{R}{10^{\frac{\log(\frac{PPV}{R})}{\beta}}} \right)^2 \quad (21)$$

Burada;

W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

R: Patlatma ve ölçüm noktası arasındaki mesafe (m)

PPV: Maksimum parçacık hızı (mm/sn)

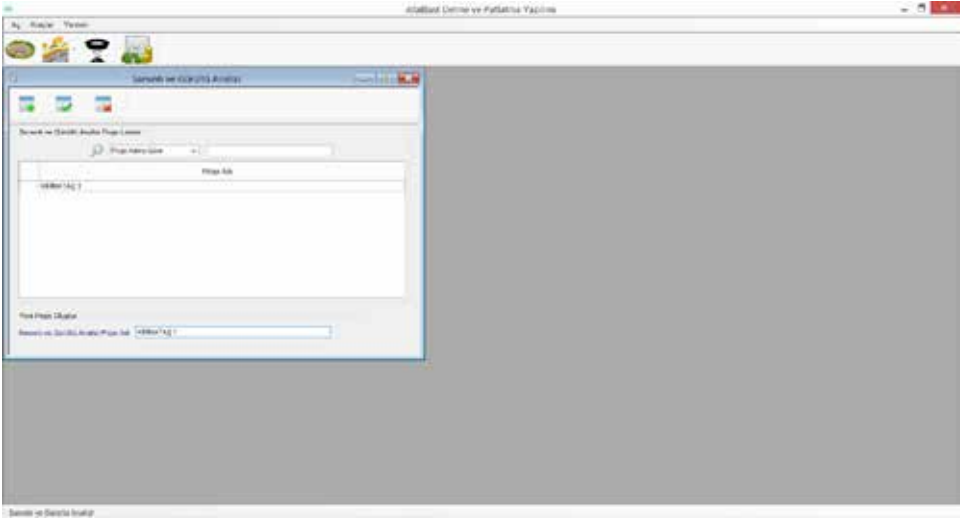
k ve β : Saha sabitleri

3 GELİŞTİRİLEN YAZILIM

Önceki bölümlerde belirtilen eşitlikler ve yaklaşımlar kullanılarak geliştirilen yazılımın tanıtımı ve bir kırmataş ocağında yapılan uygulaması bu bölümde anlatılmıştır.

Yazılım uygulaması için kırmataş ocağında yapılan patlatmalar sırasında Instanet Micromate ölçüm cihazları ile elde edilen 20 adet titreşim ve gürültü verileri kullanılmıştır.

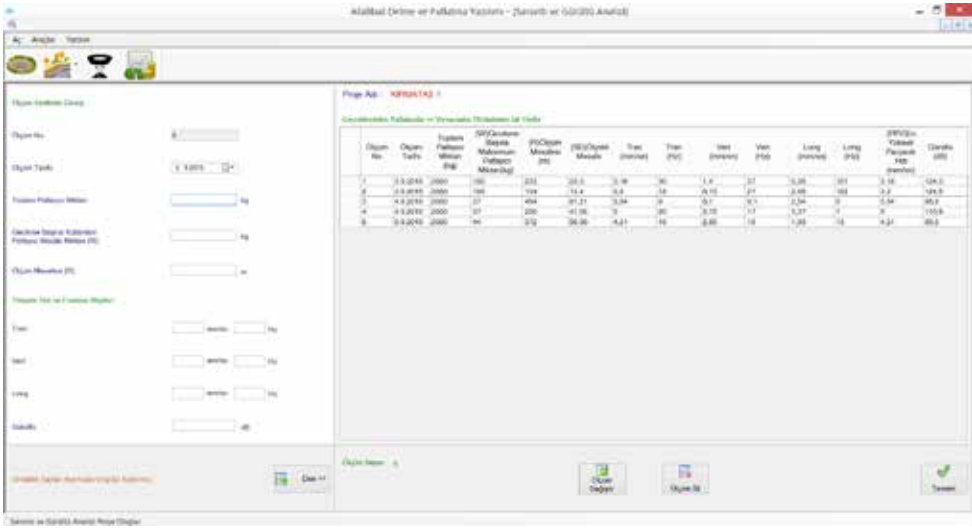
Program ilk açıldığında, veritabanında kayıtlı olarak bulunan projelerin listelendiği ve yeni proje oluşturma bölümünün bulunduğu bir form açılır (Şekil 1). Bu formda daha önceden oluşturulan projelerin görüntülenmesi ve yeni proje oluşturma işlemleri yapılır.



Şekil 1. Açılış formu

Yeni proje oluşturulduğunda veri giriş formu açılır. Bu formda kullanıcı, patlatma sırasında ölçülen titreşim ve gürültü verilerini ve gerekli patlatma bilgilerini girer. Girilecek veriler patlatma ve ölçüm verileri olarak iki bölümde girilmektedir. Patlatma verileri olarak; ölçüm numarası, ölçüm tarihi, patlatma sırasında kullanılan toplam patlayıcı miktarı, gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı ve ölçüm mesafesi girilir. Ölçüm verileri olarak ise ölçüm aletinden alınan veriler girilir.

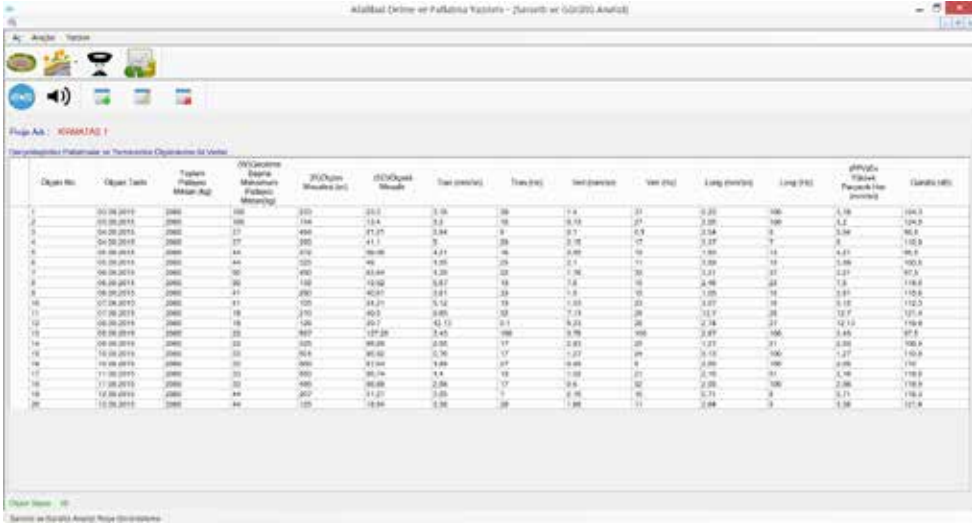
Bunlar patlatmanın oluşturduğu titreşim hızı ve frekans bilgileri (tran, vert, long) ve gürültü (desibel) verisidir. Girilen ölçüm ve patlatma verileri kullanılarak gerekli değişkenler hesaplanır ve ölçümler listelenir (Şekil 2).



Şekil 2. Veri giriş formu

Tüm ölçüm verileri girildikten sonra yeni proje oluşturma işlemi tamamlanır ve veritabanına kaydedilir. Oluşturulan proje açılarak ölçüm verileri ve bunlara ait hesaplanmış parametreler görüntülenir (Şekil 3).

Üst menüde yer alan butonlar aracılığı ile sarsıntı analizi ve gürültü analizi bölümlerine ulaşılır. Yine üst menü aracılığı ile yeni ölçüm verisi ekleme, değiştirme veya silme işlemleri uygulanabilmektedir.



Şekil 3. Proje görüntüleme formu

Sarsıntı analizi sonuçları üç ayrı bölümde görüntülenir. Kaydedilen ölçüm verileri için sarsıntı analizi sonuçları hesaplanıp görüntülenmekte ve grafik çıktıları alınabilmektedir. Sarsıntı analizi bölümleri aşağıda verilmiştir;

1. En yüksek parçacık hızı (PPV) – Ölçekli mesafe (SD) grafiği oluşturularak saha denklemlerinin ve sabitlerinin tespit edilmesi

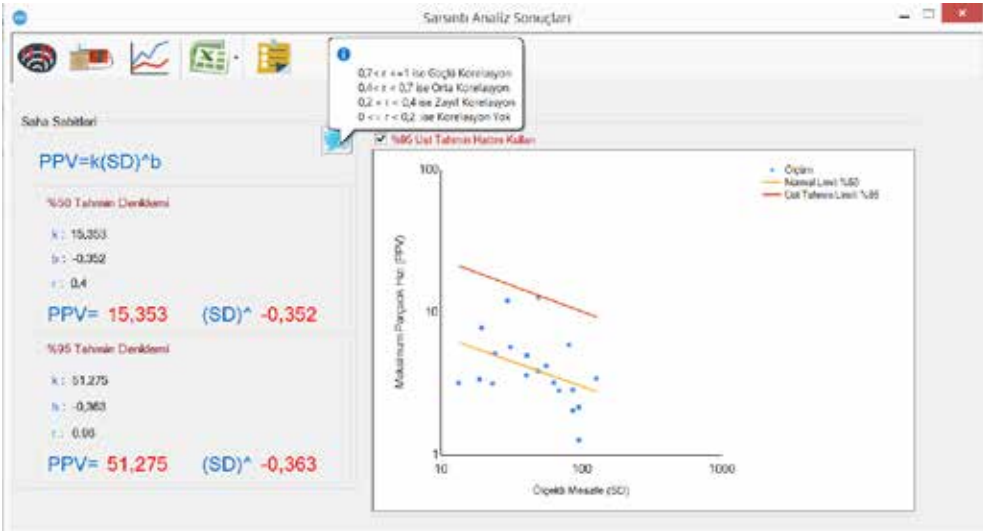
2. Sınır PPV (en yüksek parçacık hızı) değerleri için kullanılacak maksimum patlayıcı miktarlarının tahmin edilmesi ve mesafeye bağlı tablo oluşturulması

3. Farklı ülke normlarında göre Parçacık hızı – Frekans grafiklerinin oluşturulması

Sarsıntı analizi sonuçları ilk bölümünde sahaya ait yayılım denklemleri ve sabitleri regresyon analizi yapılarak bulunur ve grafiği oluşturulur. Bulunan bu değerler açılan yeni bir formda kullanıcıya aktarılır (Şekil 4.).

Bu bölümde hesaplanan saha denklemleri ve sabitleri, gecikme başına kullanılacak en yüksek patlayıcı miktarlarının tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

Ekran görüntüsünde de görüldüğü gibi %50 tahmin hattı için r (korelasyon katsayısı) değeri oldukça düşük olarak bulunmuştur. Bu durum titreşim değerleri arasındaki ilişkinin zayıflığının bir göstergesidir. Bu nedenle gecikme başına kullanılacak maksimum patlayıcı miktarlarının hesaplanmasında %95 tahmin limitli denklem kullanılmıştır. Daha verimli kestirimler için ölçümlerin artırılması önerilmektedir.



Şekil 4. Saha denklemleri ve sabitleri

Sarsıntı analiz sonuçlarının ikinci bölümünde Türkiye standardında belirtilmiş olan en yüksek parçacık hızı sınır değerleri için mesafeye bağlı olarak gecikme başına kullanılacak (izin verilen) en yüksek patlayıcı miktarlarını gösteren tablo oluşturulmaktadır. Türkiye standardı sınır değerleri 5 mm/sn, 19 mm/sn ve 50 mm/sn'dir. Programa tanıtılan mesafe aralıkları ise 50 m ile 2000 m arasında değişmektedir.

Bu aralıklardaki her bir sınır parçacık hızı ve mesafe değeri için izin verilen gecikme başına maksimum patlayıcı miktarları hesaplanır ve ekranda tablo olarak gösterilir. Kullanıcı, oluşturulan bu tablodaki belirtilen patlayıcı miktarlarını (söz konusu saha için 19 mm/sn değerine göre) göz önünde bulundurduğunda ilgili sahada yapacağı sonraki patlamalarda sarsıntı sorununun önüne geçmiş olur (Şekil 5).

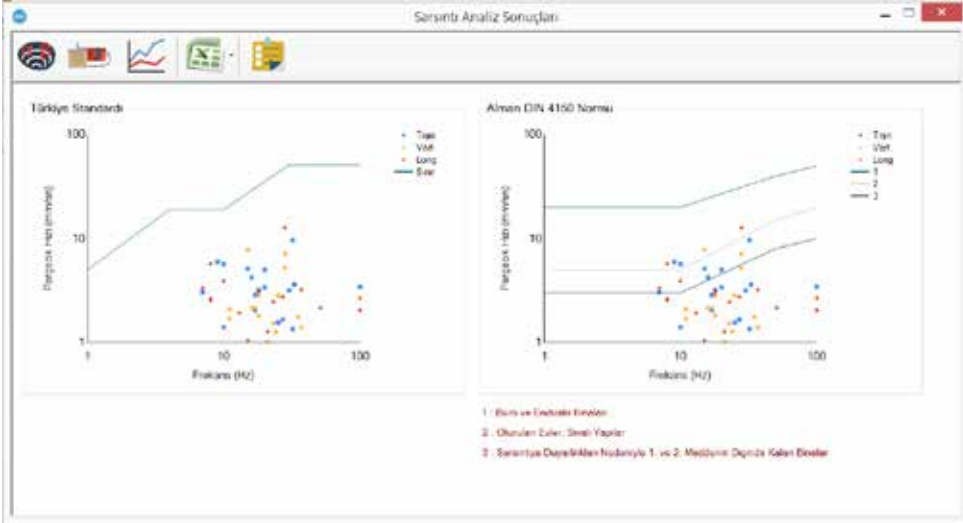
Geçerli Baza Kullanılacak Maksimum Patlayıcı Madde Miktarları (kg) (%05 Öst Tahmin Hatası Görmü Hesaplanmıştır.)

MESAFE (m)	5 mm/sn	19 mm/sn	50 mm/sn	MESAFE (m)	5 mm/sn	19 mm/sn	50 mm/sn
50	0,007	10,53	2176,148	850	0,814	1274,923	263313,088
100	0,027	42,122	8704,502	900	0,868	1616,353	313361,301
150	0,061	94,774	18885,531	950	1,137	1770,644	367961,999
200	0,106	168,487	34816,367	1000	1,318	2063,908	42624,992
250	0,188	283,287	54463,698	1100	1,514	2306,349	480632,252
300	0,242	379,088	78341,325	1200	1,723	2695,793	557061,888
350	0,33	515,982	106031,248	1300	1,945	3043,297	628566,749
400	0,431	673,948	136773,467	1400	2,187	3411,803	706071,920
450	0,545	852,908	172867,892	1500	2,43	3801,408	789581,389
500	0,673	1053,044	217814,792	1600	2,682	4212,178	870458,168

Şekil 5. Üst sınır patlayıcı miktarları

Sarsıntı analiz sonuçlarının üçüncü bölümünde ise, patlatma yapılan sahada sarsıntı etkisinin farklı ülke normlarına (Türkiye standardı ve Alman DIN 4150 normu) göre değerlendirmesi yapılır. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için bu normlara ait sayısal değerler kullanılarak grafikleri oluşturulur. Oluşturulan grafiklere, patlatma sahasında titreşim ölçüm cihazları ile yapılan ölçümlerin sonuçları (parçacık hızı ve frekans değerleri) veri olarak aktarılır. Titreşim ölçüm sonuçlarının, grafiklerde gösterilen sınır hatlarının aşılmadığı değerlendirilir. Bu sınır değerlerin altında kalan her patlatma işlemi yer sarsıntısı açısından herhangi bir tehlike teşkil etmemektedir.

Yapılan patlatma uygulamalarının da izin verilen sınırlar dâhilinde gerçekleştiği görülebilmektedir (Şekil 6.). Grafiklerdeki her bir nokta, sarsıntı ölçüm cihazı ile alınan ölçüm değerleridir (20 adet).



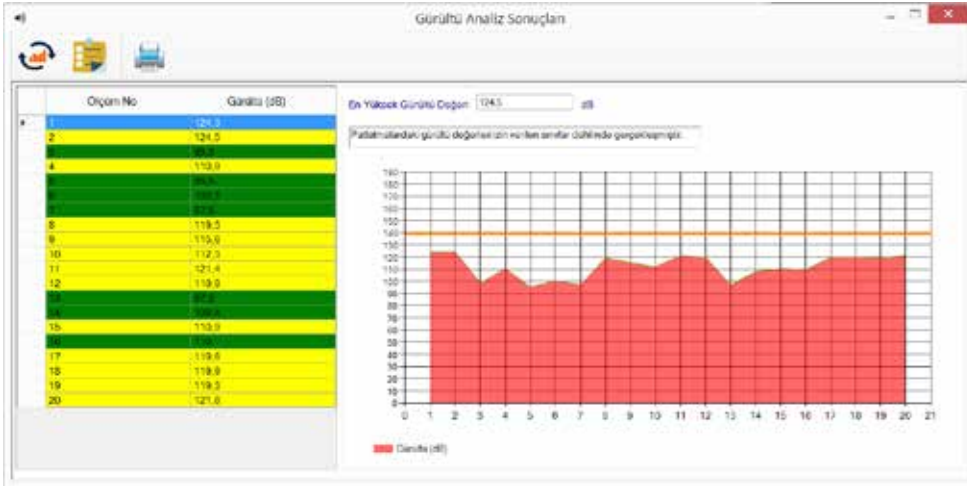
Şekil 6. Farklı standartlara göre parçacık hızı – frekans grafikleri

Gerçekleştirilen patlatmalarda gürültü ölçümlerinin değerlendirilebilmesi için ayrı bir form hazırlanmıştır. Gürültü değerlendirme formunda, veritabanından ilgili projeye ait ölçüm aleti mikrofondan elde edilen gürültü ölçüm verileri çekilerek ekranda görüntülenir. Daha sonra literatürde yer alan gürültü seviyeleri çizelgesine (Şekil 7) göre tüm gürültü ölçüm büyüklükleri kontrol edilir ve kullanıcıya durum bildirilir (Şekil 8).

Uygulama yapılan sahada gerçekleştirilen gürültü ölçümlerinde 20 adet patlatmada 97,5-124,5 dB aralığında gürültü değerleri kaydedilmiştir. Dolayısıyla patlatmalarda gürültü değerleri izin verilen sınırlar dâhilinde gerçekleşmiştir.

dB	pat	Çevresel Etkisi
100	3,0	Stratejik alanlar
120	0,90	Pansiyon çalışmalarında gürültü
100	0,30	
110	0,090	Yaz pazarları, konser etkinlikleri
140	0,030	Araba için maksimum ses seviyesi
120	0,0070	Emniyetli seviye
125	0,0030	İklimlendirme cihazları için 15 dakikalık sürekli gürültü değeri
110	0,00090	
100	0,00030	
90	0,000090	3 saatlik sürekli ses seviyesi

Şekil 7. Gürültü seviyelerinin çevresel etkisi



Şekil 8. Gürültü değerlendirme sonuçları

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, patlatma işlemleri sonucu ortaya çıkan, çevresel etkilerden en önemlileri olan, yer sarsıntısı ve gürültü etkilerinin analizi ve değerlendirilmesi amacıyla yazılım geliştirilmiş ve uygulaması yapılmıştır. Uygulama kapsamında kırmataş ocağında gerçekleştirilen patlatmalarda kaydedilen 20 adet ölçüm verisi yazılıma girilerek sarsıntı ve gürültü analizleri yapılmıştır. Yazılım çıktılarından elde edilen veriler ile ilgili sahada ileride yapılacak patlatmalar için durum tespiti yapılmış ve kontrollü patlatma tasarımları için rehber olabilecek bilgiler elde edilmiştir. Yazılımdan elde edilen çıktılar göz önünde bulundurularak yapılacak patlatmalarda meydana gelecek olan sarsıntıların çevre yapılarına hasar verme riski ortadan kalmış olacaktır.

Yazılımın test ve değerlendirme aşamasında SPSS ve Microsoft Excel programlarının regresyon analizi bölümlerinde yapılan test işlemlerinde belirtilen programlarla aynı sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte program tarafından hesaplanan patlayıcı miktarları göz önünde bulundurularak yapılan atımlarda herhangi bir şikâyet ve tehlike

teşkil edecek bir durum olmamıştır. Programın sağlıklı çalıştığı ve güvenilirliği doğrulanmıştır.

KAYNAKLAR

- Aldaş G.G.U., Ecevitöğlü B., CAN, A.Z., 2009, Patlatma kaynaklı titreşimlerin azaltılmasında yüzey dalgalarının bastırılması yönteminin uygulanması: TKİ YLI Milas işletmesinde bir uygulama, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, c.1 (1), Ankara, s.83-93.
- Bollinger, G.A., 1971, *Blast Vibration Analysis*. Southern Illinois University Press: 132, Carbondale and Edwardsville.
- Chen, G., Huang, S., 2001, Analysis of ground vibrations caused by open pit production blasts: a case study. *Fragblast – International Journal of Blasting and Fragmentation 5 (1)*, 91-107.
- Costa e Silva, V., Ayderes da Silva, L. A., 1996, *Practica ways to reduce environmental rock blasting problems. Environmental Issues and waste management in energy and mineral production*. Proc. SWEMP. 1: 291-297, Cagliari, Italy.
- Dowding C.H., 1985, *Blast Vibration Monitoring and Control*. Prentice-Hall. 297p.
- <http://mathworld.wolfram.com/LeastSquaresFittingPowerLaw.html/>
- İnal, C. Esensoy, Ö. Sözer, T., 1983, *İstatistik Terimleri Sözlüğü*, Türk Dil Kurumu, S. 163, Ankara.

- Kahrıman, A., Görgün, S., Karadoğan, A., Tuncer, G., 2001, Açık Ocak Basamak Patlatmalarından Kaynaklanan Yer Sarsıntısı Hızının Tahmini: Çan Linyit İşletmesi'nde Örnek Bir Çalışma, *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS*.
- Nicholls HR, Johnson CF, Duvall WI, 1971, Blasting vibrations and their effects on structures. Bulletin no.656. Washington, DC:US Bureau of Mines.
- Pepper, J., Johnson, M., McLellan G., 2000, Attenuation of Blasting Vibrations in South Florida, *International Society of Explosive Engineers at their 26th Annual Convention*.
- 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.
- Siskind, D.E., Crum, S.V., Otterness, R.E., Kopp, J.W. 1989, Comparative study of blasting vibrations from Indiana surface coal mine, USBM RI 9226: 41, Boston.
- Siskind, D.E. 2000, Vibrations from Blasting. *International Society of Explosives Engineers*, 120 p, New York.
- Tripathy, G. ve Gupta, I.D., 2002, Prediction of ground vibrations due to construction blasts in different types of rock. *Rock Mechanics and Rock Engineering* 35 (3), p. 195–204.

Effective Fragmentation and Flyrock Control Strategies at Quarries

Taş Ocaklarında Etkili Parçalanma ve Taş Savrulması Kontrol Stratejileri

S. Esen

Esen Mining Consulting, Sydney, Australia

ÖZET Bu bildiri taş ocaklarında üretim ve iş sağlığı ve güvenliğinin iyileştirilmesi için uygulanabilecek etkili parçalanma ve taş savrulması kontrol stratejilerini sunar. Parçalanmanın iyileştirilmesi için parçalanma ölçüm ve modellemenin yanı sıra kapsamlı delme ve patlatma denetimi gereklidir. Ayna profili ve delik sapma tespit ve ölçüm sistemi “tasarlanmış” ve “delinmiş” durumları değerlendirmek için uygun araçlardır ki bu sistemler ayna dilim kalınlığı bölgesinden çıkacak uygun parçalanma ve taş savrulma riskinin azaltılması için gereklidir. Genel olarak, ocaklarda parçalanma verilerinde çok dağınıklık görülmektedir ve bunun nedenleri kök-neden analiz tekniği ile analiz edilmelidir. Bazı etkili parçalanma stratejilerini gösteren iki uygulamalı çalışma bildiride sunulmuştur. Son olarak, maden ekipman ve personeli için güvenli patlatma yasak bölgesinin belirlenmesi için bir taş savrulması modeli gösterilmiştir. Taş savrulması oluşumunu en aza indirmek için bazı anahtar öneriler sunulmuştur.

ABSTRACT This paper presents the effective fragmentation and flyrock control strategies that could be applied at quarries to improve the productivity and safety. Fragmentation measurement and modelling as well as a comprehensive drill and blast audit are essential for improving the fragmentation. Face profiling and boretracking are good tools to manage the “as-designed” and “as-drilled” conditions to get reasonable fragmentation from face burden zone and minimise the flyrock risk. In general, a large scatter in fragmentation data was observed at sites and the causes should be analysed by a detailed root-cause analysis technique. Two case studies were presented in this paper showing some of the effective fragmentation strategies. Finally, a flyrock model was shown to determine the safe blast exclusion zone for the mining equipment and personnel. Some key guidelines were suggested to minimise the occurrence of the flyrock.

1 INTRODUCTION

Drill and blast is understood to be the first stage of the comminution and known to affect the downstream processes (load and haul, crushing and grinding). Investigations by several researchers to date have shown that all the processes in the mine to mill value chain are inter-dependent and the results of the upstream mining processes

(especially blast results such as fragmentation, muckpile shape and movement, rock damage) have a significant impact on the efficiency of downstream processes, especially crushing and grinding (Eloranta 1995, McKee et al. 1995, Kojovic et al. 1998, Kanchibotla et al. 1998, Simkus and Dance 1998, Scott et al. 1999, Kanchibotla et al. 1999, Valery et al. 1999,

Valery et al. 2004, Dance et al. 2006, Esen et al. 2007, Valery et al. 2007, Kanchibotla and Valery, 2010).

The aggregates industry appears to be a perfect candidate for Mine-to-Mill optimization since its main focus is particle size reduction through blasting and crushing. Since a typical crushed stone quarry can consume between 1.7 – 2.2 kWh/t, over 2.5 billion kWh of electrical energy are consumed per year by crushed stone production in the US. Clearly, if there is a segment of the mining industry where energy saving research can have an impact, it is the aggregates industry (Adel et al., 2006).

As shown in Table 1, energy used in crushing is approximately 9 times more than drill and blast which indicates that more efficient size reduction should occur at earlier step (blasting) to minimize the total energy consumption.

Table 1. Energy consumption at an aggregate quarry

	Specific energy, kWh/t	Energy factor
Blasting	0.1-0.3	1
Load and haul	0.2-0.5	2
Crushing	1.0-2.0	9
Cement grinding	40-60	286

Fragmentation size distribution affects the crushing circuit in many ways. Coarse fragments and oversize present in the muckpile will reduce the primary crusher throughput and will lead to downtime to clear crusher bridging. The maximum feed size should be no greater than 80% of the crusher feed opening. Poor fragmentation will also increase the load to the secondary and tertiary crushing stages, because there will be less undersize to bypass these stages. This will affect productivity and energy consumption. The other effect of blasting is the production of the fractures that are produced within the rock fragments. There is substantial evidence that such cracking is produced (Nielsen and Kristiansen 1996, Katsabanis et al. 2003). The effect of internal fractures is to soften the fragments, making

them easier to break. Thus, the use of greater energy input in the blasting operation can often be less costly than expending energy downstream. This has benefits to productivity, energy expenditure and to the wear of crusher liners.

With the help of the improved blast outcomes at the aggregate quarries, the sites have reduced rock breaker hours due to less oversize, improved loader productivity, increased crusher throughput, less power draw and downtime at the crushers. A few examples were given below:

- A drill and optimization study at Linwood Quarry by Martin (2012) showed that a) 26% reduction in oversize material; b) 28% reduction in fines material; c) drill and blast savings of up to 22%, including oversize costs.
- Lawrance et al. (2009) carried out a mine-to-mill type project at a quarry in the US and they achieved impressive cost savings and increases in plant tonnage throughput: Crusher throughput resulting from all the validation blasts was increased by at least 28%. In spite of a 28% increase in drilling and blasting cost, the standard cost model for the project showed: a 10% to 27% increase in crusher plant capacity over a baseline of 373 tons per hour (TPH) to an average of 475 TPH. (A 102 TPH positive shift in capacity); a 17% to 31% reduction in net total cost per ton when scalping; and even without scalping an 8.8% reduction in the net cost per ton.
- Chavez et al. (2007) recorded about 30% increase in the primary crusher throughput and improvements in total cycle time in load and haul.
- JKMRC's mine-to-mill project at Pittsboro quarry (Adel et al., 2006) in the USA achieved a) throughput at the primary crushing stage increase: The ramp-up was 9.5% (to 1035 tonnes per hour) for material Luck Stone was producing for itself from dacite tuffs and basalt, and 14.6% (to 965 tph) for

andesite material the company was crushing for the quarry owner, 3M.

- Elliott et al. (1999) conducted a fragmentation study at Lafarge Exshaw operation which resulted in 15.6% increase in the crusher throughput and 30% reduction in the power draw.
- Rock breakage is more cost effective using explosives than a hydraulic breaker, and explosive consumption costs have been increased at the quarry to effect an overall reduction in the costs of quarrying. Although powder factor was increased approximately 23%, overall cost (drill and blast and rock breaking) dropped by approximately 7% (Cox and Cotton, 1995). This study did not quantify the benefits in crushing.

Cement production is an energy intensive process. It consumes 2% of the global primary energy and 5% of the total global industrial energy. Grinding is a high-cost operation consuming approximately 60% of the total electrical energy expenditure in a typical cement plant and 40% of this energy is for raw material grinding (Fujimoto 1993, Benzer 2005). Therefore, fragmentation of raw materials (limestone, etc) fed into the mills is crucial for reducing the energy consumed in raw material grinding stage. Table 1 shows that specific energy consumption is very low at blasting and crushing stages. As discussed earlier, cement grinding is a very energy intensive process and size reduction should occur as much as possible prior to the raw material grinding.

This paper presents the tools and methodologies followed by the author used in a drill and blast study to control the fragmentation and flyrock. Case studies are presented to demonstrate the application.

2 FRAGMENTATION MEASUREMENT

There are numerous image processing softwares (Split-Desktop, WipFrag, FragScan, PortaMetrics etc) which are commercially available. For manual systems,

usually 10-20 pictures should be sufficient to adequately describe the fragmentation size distribution from a blast. Pictures should be taken at different shift breaks whilst blasted material is being excavated to accurately represent the fragmentation from inner and outer parts of the blast. Figure 1 shows an example of a muckpile image and the delineated picture used by the image analysis software to determine the particle size distribution.

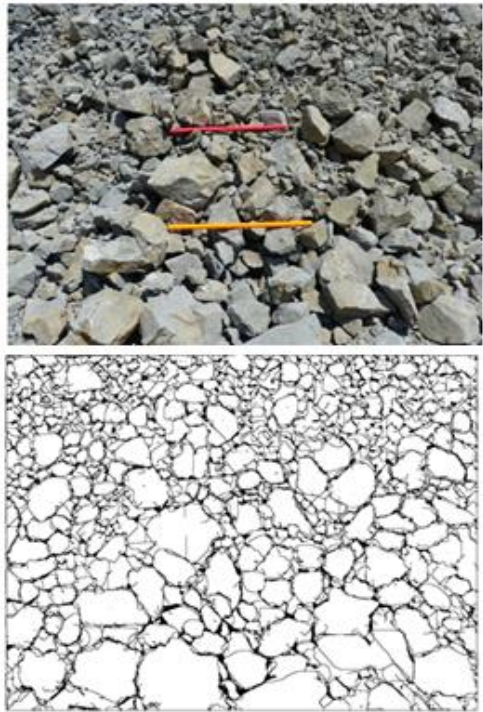


Figure 1. Original (top) and processed (bottom) image for fragmentation analysis

3 FRAGMENTATION MODELING

Blasting community has been widely using the fragmentation model developed by Cunningham (1983) which was later revised a few times (see Cunningham 1987, 2005). Due to the Kuz-Ram model's poor ability to describe the fines, the Two Component Model (Djordjevic, 1999), the Crush Zone Model (Kanchibotla et al., 1999) and Onederra and Esen's (2004) model were

developed at the JKMRC in Australia. All combine two Rosin-Rammler distributions or components, one for the coarse part of the curve and one for the fines. Onederra and Esen (2004) showed that the Kuz-Ram model is not able to satisfactorily predict the complete size distribution of fragments, particularly in the fine and intermediate size fractions. The model was later updated (Esen, 2013) using Swebrec function (Ouchterlony, 2005). Figure 2 shows a calibrated model at a gold mine where a partial sieving data is available for a muckpile.

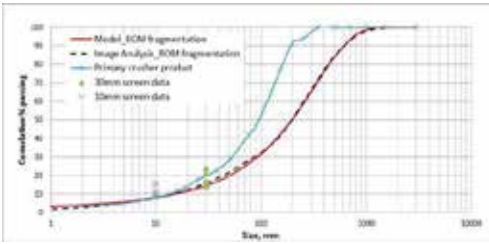


Figure 2. Comparison of the sieve data at 10 and 30mm with the fragmentation model

Having carried out the image analysis to determine the size distribution of the blasted muckpile, the fragmentation model was calibrated using the measured fragmentation data. Sieving was carried out on-site and the sieve sizes were 10mm and 30mm (Figure 2). It is shown that results of the fragmentation model compare well with measured data (Esen, 2013).

Figure 3 shows another example of the validation which shows a good agreement between sieved data and model prediction at Bararp Quarry in Sweden.

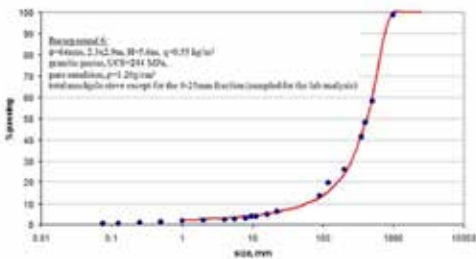


Figure 3. Bararp Quarry fragmentation data – experimental vs model fit

4 QUALITY CONTROL AT BENCH

A good on-bench drill and blast audit can show how well the blast is implemented and show the detailed analysis of the hole depth (backfill/re-drills), hole collar deviations (deviations in burden and spacing), stemming (material type, size, length), priming quality, bulk explosive performance, initiation control (selection of delay times and burden relief), bench preparation and a general overview of the drill and blast process. The audit process can help understand the issues in the implementation. Figures 4-5 show two sites with poor and good drill control. Drill tolerance is 0.5m for both sites. Example 1 has got almost half of the blastholes out of tolerance limit whereas Example 2 is a much better site (approximately 20% out of tolerance). These analyses should be extended for hole length and stemming length.

For quarries, face profiling and boretracking are key tools to manage the face burdens and hole deviations. Their use also minimizes the airblast and flyrock risks.

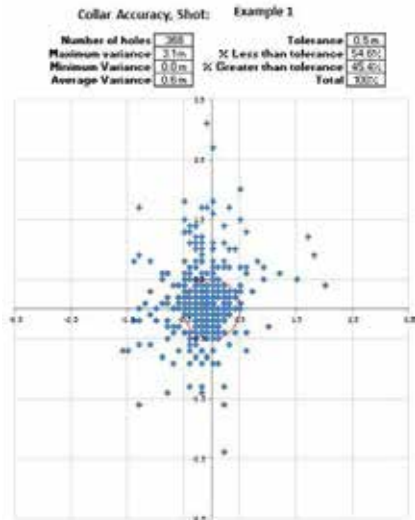


Figure 4. Hole collar accuracy for Example 1

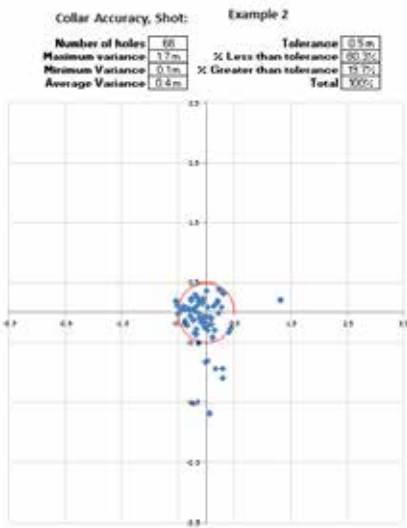


Figure 5. Hole collar accuracy for Example 2

5 ROOT CAUSE ANALYSIS FOR THE VARIABILITY IN THE FRAGMENTATION DATA

Figure 6 shows an example of fragmentation data obtained from a mine site. 80% passing size (F80) was chosen in this figure. It is shown that there is a significant variability in the data and coarse sizes are clearly seen (>300mm). So, what causes such a large scatter? The answer lies in the root cause analysis which should be carried out by evaluating the QA/QC data, rock data (strength and structure) and blast design parameters using the fragmentation model. Two case studies were presented as examples.

5.1 Case Study 1

Figure 7a shows the results the hole depth compliance from a site. Figure 7b shows the energy distribution which is an output given by JKSimBlast software. It shows the hot and cold spots (high and low explosive energy, respectively as represented by MJ/m³). This figure is a critical one as it identifies a few key issues on-site:

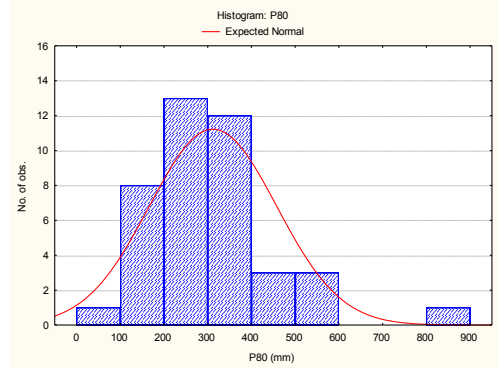
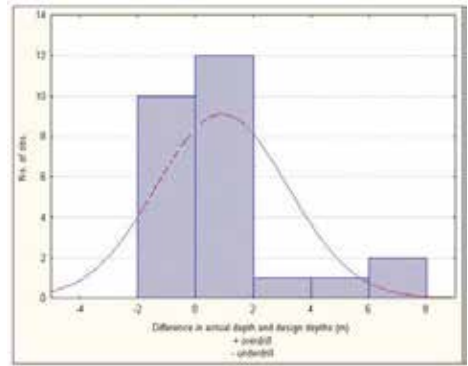
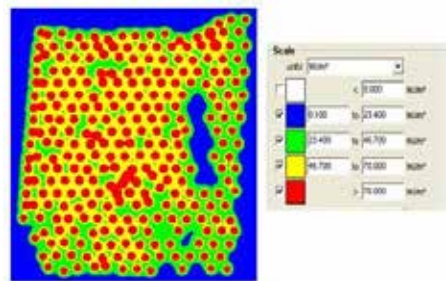


Figure 6. Histogram of the fragmentation data (F80) from an audited mine site



(a)



(b)

Figure 7. a) histogram of hole depth (actual – design) b) Explosive energy distribution showing the variability in the energy levels

- Overdrilling and backfilling issues;
- Inadequate bench preparation and re-drill issues (some large areas represented by blue color indicating no blasthole);

- Large variations in burden and spacing causing non-uniform energy distribution;
- Poor blast shape.

The site implemented the recommendations to address above issues. In addition, they improved the size distribution of the stemming material (from 15-40mm to 5-20mm for 165mm blastholes). Table 2 indicates the major changes and the fragmentation results. The site experienced reduced crusher downtime and increased crusher throughput after this study.

Table 2. Changes in the drill and blast

better blast shapes
re-drills and backfills were carried out
improved stemming size
better hole collar location accuracy

	Base case	Modified case
Diameter, mm	165	165
Drill pattern	3.8x4.4	3.5x4.1
Powder factor, kg/m ³	1.2	1.4
Stemming, m	3	3
Measured F80, mm	380	255

5.2 Case Study 2

A fragmentation study was carried out at an Australian Quarry due to the coarse fragmentation complaints at site. Figure 8 shows an image from an oversize pile. Rock type was basalt with in-situ block size of 0.5m. Table 3 summarizes the blast design parameters for the base case. Emulsion explosive with 30% ANFO at a density of 1.20 g/cm³ is used. Face profiling is carried out to manage the blasthole's locations and their angles to achieve face burden of 3.3-3.8m. Boretracker is used to manage the issues caused by drill deviations.



Figure 8. Oversize piled at a separate stockpile. Scale is 1m.

Table 3. Blast design parameters

Dia,mm	89
Hole length, m	10.3
Bench height, m	9.3
Hole angle	10
BxS, m	2.7*3 (rectangular pattern)
Face burden, m	3.6
Face burden range, m	3.3-3.8
Stemming length, m	2.2
Number of rows	4
Control row, ms	42
Echelon row, ms	25
Face row powder factor, kg/m ³	0.61
Inner row powder factor, kg/m ³	0.81

Numerous pictures were acquired from an oversize pile and from the blasted muckpile. Measured F80 (80% passing size) and top sizes were 293mm and 580mm, respectively for the production blasts. Top size was 960mm for the oversize pile (Figure 9). The site was happy with the fragmentation obtained from the inner rows; however, the causes of oversize which were present in the stockpile needed to be identified and minimized.

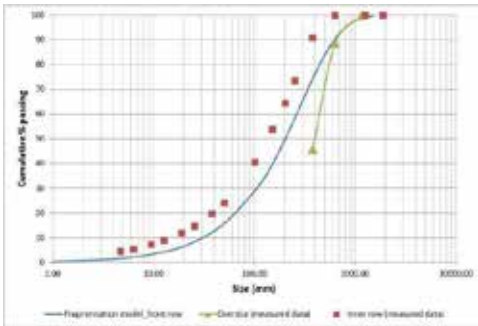


Figure 9. Measured fragmentation data and fragmentation model

Fragmentation model was calibrated with the coarse size matching to the measured oversize data. Two cases were run with the model as shown in Table 4. Alternative cases had different front row burden, spacing and stemming length values. As shown in Table 5, Case 2 had a top size around 700mm and had a similar fragmentation when compared to the inner rows. The site adopted Case 2 with improved fragmentation outcomes. Staggered drill pattern was chosen for better energy distribution.

Table 4. Base case and two alternative cases

	Front burden, m	Spacing, m	Stemming, m
Base Case	3.6	3	2.2
Case 1	3	3	2
Case 2	2.7	2.8	1.8

Table 5. Fragmentation results

	F80,mm	Top size, mm
Base Case	443	1177
Case 1	359	851
Case 2	303	682

6 FLYROCK CONTROL AND DETERMINING THE BLAST EXCLUSION ZONE

6.1 Flyrock

Flyrock can be defined as the rock fragments which were projected beyond the clearance zone. The clearance zone is the zone around a blast beyond which there should be no risk to personnel from flying rock fragments, and

beyond which the blaster must evacuate all personnel prior to firing the blast (Stiehr, 2011).

Flyrock is one of the most blast-related incidents seen at mine sites. Some Australian examples are listed below:

- during a quarry blast, flyrock was projected more than 500 metres onto the Pacific Highway. A rock of approximately 100mm diameter was also projected onto a nearby property where it caused damage to a shed and parked vehicle;
- a rock was thrown 1300 metres from a blast consisting of 89 mm diameter blastholes;
- flyrocks resulting from a trim blast at a gold mine caused significant damage to the four drills and one excavator which parked less than 150m from the blast;
- at a gold mine, one of the blastholes caused flyrock hitting and braking the window on a drill rig which was located 181m from the blast;
- a quarry blast had thrown material a maximum of 170 meters and striking the main office which was 150 meters from the blast and caused damage to buildings;
- a shotfirer was struck on the right side of his face by flyrock after a toe was blasted at a quarry. He was videoing the shot 75 metres from the blast area whilst sheltering behind a steel hopper with another person.

6.2 Root Causes of Flyrock

Flyrock can be generated from a bench blast (either free-faced or buffered) b)oversize blasting. This paper deals with the flyrock generated by the bench blasts only.

The causes of flyrock in a bench blast are:

- Design faults: inappropriate face burden and stemming length, inappropriate stemming material selection (e.g.drill cuttings), poor choices of powder factor and initiation sequence.
- Deviations in implementation: “as-drilled” face burden and final stemming length being less than design; blasthole deviation (not measured and/or incorrect loading for holes with significant deviations); explosive run-away into cavity (failing to detect this issue).
- Unforeseen geological conditions: cavities, weak seams, fault zone and

broken zone in the stem zone or in the face burden area, etc.

6.3 Determining the Blast Exclusion Zone – A Case Study

There are two main flyrock models (Richards and Moore 2004, McKenzie 2009) which have been widely used in the industry. In this paper, a case study was presented using Richards and Moore’s model.

According to Richards and Moore (2004), there are three common sources of flyrock (Figure 10):

- The face of the blast, in which flyrock is generated through a ‘face burst’;
- The bench top, through a phenomenon known as ‘cratering’; and
- The stemming zone, where flyrock is generated through stemming ejection or ‘rifling’.

Face burst occurs when front row burdens are insufficient to contain the explosive energy. This mechanism can produce flyrock in front of the blast area. Stemming ejection (or rifling) occurs when stemming material is of poor quality or where the hole is not fully stemmed (e.g. hang ups). This mechanism can produce flyrock behind the blast area, depending on the angle of the blast hole.

Note that cratering calculations are removed from original model as cratering calculations are not representative of the blasts at this quarry. Cratering is not valid as stemming length is well above 20 times hole diameter and should not cause cratering effect.

The equations shown in Figure 10 provide a tool which can be used to predict the maximum flyrock distance likely to result from a blast, given the specific parameters of that blast. Based on this prediction, a safety factor is applied to give a minimum blast clearance distance. The safety factor applied for buildings and equipment is 2.0. For humans the safety factor is 4.0.

The site constant, K, as shown in Figure 10 accounts for the blasting response of the rock mass at a specific site. K takes a value between 13 and 27 depending on the observed blast outcomes at that site. The model can be “tuned” to an individual site’s blasting conditions based on a history of measured blast outcomes and maximum rock movement.

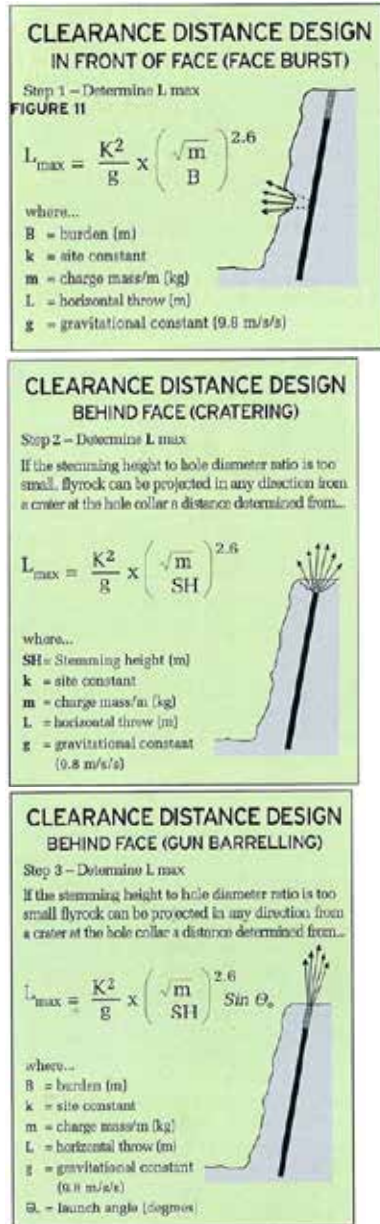


Figure 10. Flyrock model (Richards and Moore, 2004)

A few survey points were marked on the ground around the blast to determine the horizontal distance of the flyrock. Videos of the blast and other blasts were analysed. Maximum horizontal flyrock distance is determined as approximately 45m and the maximum vertical distance is approximately 25m.

Base case blast had 89mm hole diameter, 10.6m hole length, 2.2m stemming length and 4m face burden. The model constant is calibrated ($K=21$) to match the observed collar projection and maximum flyrock range of 45m. Base case stemming lengths of 2.2m at 89mm pattern indicate a Scaled Depth of Burial of 1.41 using pumped emulsion with density of 1.20g/cm³ which shouldn't cause significant flyrock distances provided that stemming collar is not in a broken ground and stemming material is appropriate (free flowing ensuring bridging does not occur). Face holes are designed with minimum of 3.2m face burden.

The calibrated model determines the blast exclusion zone for personnel as 193m. It assumes that a) minimum of 2.2m stemming is applied; b) bridging does not occur and appropriate crushed aggregate fills the stemming column c) minimum face burden is 4m.

A sensitivity analysis (see Appendix 1) was carried out by varying the K constant, stemming length and face burden to account for the natural variation that may exist in geology, face burden and loading. It is shown that medium (10%) variation in geology (K constant), face burden and loading (stemming length) increases the personnel exclusion zone distance to 277m. Therefore, it is recommended to adopt 300m as the exclusion zone distance for personnel. This would ensure that natural variation in geology, face burden and loading is accounted for the selection of the distance.

Based on the safety factor of 2 for the equipment, the nominal exclusion zone distance is calculated as 138m considering the variation (medium: 10%) in the loading, face burden and stemming. Therefore, it is suggested to use a minimum of 150m of clearance distance for the equipment and infrastructure around the quarry.

6.4 Some Suggestions for Managing the Flyrock Issues at Quarries

All employees should be removed to a safe location away from the blast area during blasting. Blast exclusion zone calculations should be carried by an external consultant.

All entrances to the blast area should be securely guarded to prevent inadvertent entry of employees or visitors. Pit plans showing the blast exclusions zones for equipment and personnel as well as guard positions should be prepared for each blast. Good communication is a key to a safe blasting operation

Proper blast design and an effective blasting plan will reduce the chances for flyrock. Most flyrock incidents occur because a) the burden has not been checked b) appropriate stemming material and/or stemming length were not used. Laser profiling, with or without boretracking, is a useful tool for checking burden.

Crushed aggregate with size of 1/10th of the hole diameter should be used. Stemming length calculations should be based on the scaled depth of burial given by Chiappetta et al. (1983) or Stiehr (2011).

In this paper, the author recommends a flyrock modelling and blast exclusion zone calculations to be carried out by an external blast consultant. In the absence of such reports, I recommend using below guidelines at quarries until a report is prepared and made available for use:

- For nonblast personnel 800m in front of the shot and 400m to the side and rear of the shot.
- Blast personnel should be positioned greater than 400 metres from the shot and not positioned in the direct line of fire and within retreat distance of a protective structure (i.e. fixed plant or blasting bell).
- No mobile plant is to be within 300 metres of the initiation point without signed site manager's approval.
- Where a blast is to occur within 100 metres of fixed plant an appropriate blasting specialist should be engaged to design and control the loading and firing process.

7 CONCLUSIONS

Effective control strategies for fragmentation and flyrock are presented in this paper. Some of the key conclusions are as follows:

- Mine to mill type optimization studies can help improve the productivity of the quarries and reduce the total cost per ton significantly:
 - Some researchers showed that total drill and blast and oversize cost dropped by 7-22% with the

- drill and blast optimization study;
- 10 to 30% increase in the primary crusher throughput;
- Up to 30% decrease in power draw;
- 17% to 31% reduction in net total cost per ton.
- Fragmentation measurements should be carried out on-site to understand the variability of the data and minimise the variability to provide a consistent feed to the crusher without oversize.
- Fragmentation model calibrated to the measured data offers significant benefits to the quarries as it presents alternative designs for better fragmentation.
- Blast auditing is crucial at any site as it identifies the issues with QA/QC, pit planning, drill and blast process as well as safety. It should be conducted at every site regularly.
- Safe blasting requires that rock throw be controlled to prevent danger from flyrock. Flyrock incidents have occurred in the past and investigations of these incidents commonly conclude that the flyrock was due to over charging and/or under confinement of the explosive charge.
- A practical flyrock model was presented in order to determine the safe blast exclusion zone for the mining equipment and personnel. Some key guidelines were suggested to minimise the occurrence of the flyrock.
- An external specialist should be engaged to carry out the blast exclusion zone calculations.

REFERENCES

- Adel, G, Kojovic, T, Thornton, D. 2006. *Mine-to-Mill Optimization of Aggregate Production*. JKMR Semi-annual Report No:4. 86 pages.
- Benzer, H, 2005. Modeling and simulation of a fully air swept ball mill in a raw material grinding circuit. *Powder Technology* 150:145– 154.
- Chavez, R, Leclercq, F, McClure, R, 2007. Applying up-to-date Blasting Technology and Mine to Mill Concept in Quarries. *International Society of Explosives Engineers – Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*. 12 pages.
- Chiappetta, R., Bauer, A., Dailey, P. and Burchell, S., 1983. “The Use of High-Speed Motion Picture Photography in Blast Evaluation and Design”, Proceedings of the Ninth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique. Dallas, TX. International Society of Explosives Engineers, pp 258-309.
- Cox, N, Cotton P, 1995. Improvements in quarry blasting cost effectiveness. *International Society of Explosives Engineers – Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*. pp 78-92.
- Cunningham, C V B, 1983. The Kuz-Ram model for prediction of fragmentation from blasting. *Proceedings of the first international symposium on rock fragmentation by blasting*, Lulea, Sweden, 439-453.
- Cunningham, C V B, 1987. Fragmentation estimations and the Kuz-Ram model - Four years on. *Proceedings of the second international symposium on rock fragmentation by blasting*, Keystone, Colorado, 475-487.
- Cunningham, C.V.B. 2005. The Kuz-Ram fragmentation model—20 years on. In R. Holmberg (ed.), *Proc. 3rd EFEE World Conf. on Explosives and Blasting*, Brighton, UK, 13–16 September, pp. 201–210. Reading, UK: European Federation of Explosives Engineers.
- Dance, A., Valery Jnr., W., Jankovic, A., La Rosa, D. and Esen, S. 2006. Higher Productivity Through Cooperative Effort: A Method Of Revealing And Correcting Hidden Operating Inefficiencies. SAG2006 – HPGR, Geometallurgy, Testing. *International Conference on Autogenous and Semiautogenous Grinding Technology*, Volume 4, 375 – 390, Vancouver, Canada.
- Djordjevic, N, 1999. Two-component of blast fragmentation. *Proceedings of 6th international symposium of rock fragmentation by blasting - FRAGBLAST 6*, Johannesburg, South Africa. South African Institute of Mining and Metallurgy, 213-219.
- Elliott, R, Ethier, R, Levaque J, 1999. Lafarge Exshaw finer fragmentation study. *International Society of Explosives Engineers – Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*. pp 333-353.
- Eloranta, J. 1995. Selection of powder factor in large diameter blastholes, *EXPLO 95 Conference*, AusIMM, Brisbane, September, PP 25-28.
- Esen, S., LaRosa, D., Dance, A., Valery, W. and Jankovic, A. 2007. Integration and optimisation of Blasting and Comminution Processes. *EXPLO 2007*. Australia. pp 95-103.
- Esen S. 2013. Fragmentation Modelling and the Effects of ROM Fragmentation on Comminution Circuits. *23rd International Mining Congress & Exhibition of Turkey*. pp 252-260.
- Fujimoto, S, 1993. Reducing specific power usage in cement plants, *World Cem.* 7 : 25– 35.
- Kanchibotla S.S., Valery W. and Morrell, S. 1998. Modelling fines in blast fragmentation and its

- impact on crushing and grinding, *Proc. Explo-99 Conf.* Kalgoorlie.
- Kanchibotla S.S., Valery W. and Morrell S. 1999. Modelling fines in blast fragmentation and its impact on crushing and grinding. *Explo'99: A Conference on rock Breaking*, Kalgoorlie, WA, Australia, pp. 137-144.
- Kanchibotla S.S., Valery W. 2010. Mine-to-mill process integration and optimization – benefits and challenges. *36th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, International Society of Explosives Engineers, Orlando, USA.
- Katsabanis, P, Greagsenm S, Pelley, C, Kelbeck, S, 2003. Small scale study of damage due to blasting and implications on crushing and grinding, *Proceedings of the 29th Annual Conference on Explosives and Blasting Research*, Nashville, TN, 234-256.
- Kojovic T., Kanchibotla S.S., Poetschka N., and Chapman J., 1998. The effect of blast design on the lump-to-fine ratio at Marandoo iron ore operations, *Proc. Mine-to-Mill Conf.*, Brisbane.
- Lawrance, M, Hissem, W, Veltrop, G, 2009. Missouri Quarry Productivity Improvement – Casework. *International Society of Explosives Engineers – Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*. 11 pages.
- Martin, D, 2012. Blast Vibration Modelling - An Instrument to Optimise Quarry Production. *International Society of Explosives Engineers – Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*. 12 pages.
- McKee, D.J., Chitombo, G.P., Morrell, S., 1995. The relationship between fragmentation in mining and comminution circuit throughput, *Minerals Engineering*, Vol 8, No 11, pp 1265-1274.
- McKenzie, C.K. 2009. Flyrock Range & Fragment Size Prediction. *Proceedings of the 35th annual conference on explosives and blasting technique*. February 8-11, Denver, CO.
- Nielsen, K, Kristiansen, J, 1996. Blasting-crushing-grinding; optimization of an integrated comminution system, *Proceedings of the 5th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FRAGBLAST 5*, Montreal, 269-277, A A Balkema, Rotterdam.
- Richards, A B and Moore, A J, 2004. Flyrock control – by chance or design, in *Proceedings of the 30th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, pp 345-348, The International Society of Explosives Engineers.
- Onederra, I, Esen, S and Jankovic, A. 2004. Estimation of fines generated by blasting - applications for the mining and quarrying industries. *IMM transactions*, Vol 113, No.4: 237-247.
- Ouchterlony, F. 2005. The Swebrec function: linking fragmentation by blasting and crushing. *Mining Techn. (Trans. of the Inst. of Mining & Met. A)* 114:A29–A44.
- Scott, A., David, D., Alvarez, O., and Veloso, L., 1998. Managing fines generation in the blasting and crushing operations at Cerro Colorado Mine, *Proc. Mine-to-Mill Conf.*, Brisbane.
- Simkus, R. and Dance, A., 1998. Tracking Hardness and Size: Measuring and Monitoring ROM Ore Properties at Highland Valley Copper, *Proc. of Mine-to-Mill Conference*, AusIMM, Brisbane.
- Stiehr, J, 2011. *ISEE Blasters' Handbook*. 18th edition. Chapter 15.
- Valery Jnr., W., Kojovic, T., Tapia-Vergara, F. and Morrell, S. 1999. Optimisation of blasting and sag mill feed size by application of online size analysis. *IRR Crushing and Grinding Conference*, Perth, WA 29-31 March.
- Valery Jnr., W., La Rosa, D., Jankovic, A. 2004. Mining and Milling Process Integration and Optimisation, *SME 2004 Conference*, Denver, CO.
- Valery, W., Jankovic, A., La Rosa, D., Dance, A., Esen, S. and Colacioppo, J. 2007. Process integration and optimisation from mine-to-mill. *Proceedings of the International Seminar on Mineral Processing Technology*, pp. India. 577-581.

**APPENDIX 1. SENSITIVITY ANALYSIS
– EXCLUSION ZONE DISTANCE**

	K	Exclusion zone distance (Personnel), m	Exclusion zone distance (Equipment), m
Minor - 5%	22	237	119
Medium - 10%	23	259	130
Major - 20%	25	306	153
	Stemming Length, m	Exclusion zone distance, m	Exclusion zone distance, m
Minor - 5%	2.1	244	122
Medium - 10%	2.0	277	138
Major - 20%	1.8	364	182
	Face burden, m	Exclusion zone distance, m	Exclusion zone distance, m
Minor - 5%	3.8	216	108
Medium - 10%	3.6	216	108
Major - 20%	3.2	216	108

Elektronik ve Nonel Ateşleme Sistemlerinin Karşılaştırılması *Comparison of Electronic and Nonel Ignition Systems*

S. Ercins

Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas MYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Blm., Sivas

H. Akçakoca

Dumlupınar Üniversitesi., Müh. Fak., Maden Müh. Blm., Kütahya

ÖZET Maden ve taş ocakları, bina yıkımı, baraj ve tünel inşaatı gibi birçok mühendislik alanında uygulanan patlatma işlemi, günümüzde vazgeçilmez bir konuma gelmiştir. Patlatma uygulamalarında seçilen ateşleme sistemleri; üretim miktarları, maliyetler ve yersarsıntısı, hava şoku, fırlayan kaya gibi çevresel sorunları önemli ölçüde etkilemektedir. Bütün bu problemler göz önüne alınarak bunların beklenen ideal değerlere ulaşması için tasarlanan yeni nesil elektronik ateşleme sistemleri ön plana çıkmaya başlamıştır. Nonel ateşleme sistemi ile yeni geliştirilen elektronik ateşleme sistemi hakkında bilgiler verilerek, elektronik kapsüllerin çalışma prensipleri, nasıl kullanıldıkları, avantaj ve dezavantajları ile teknik özellikleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Henüz ülkemizde kendine geniş bir çalışma alanı bulamayan elektronik kapsüller gelecekte nonel ateşleme sistemlerinin yerini tamamen alacak bir potansiyele sahiptir.

ANAHTAR KELİMELER: Patlatma, elektronik kapsül, nonel kapsül, elektronik ateşleme sistemi, nonel ateşleme sistemi, çevresel sorunlar

ABSTRACT Mines and quarries, building demolition, construction of dams and tunnels as applied in many fields of engineering blasting process has now become an indispensable position. ignition systems selected in blasting applications; production quantities, costs and ground vibration, air blast, environmental problems such as flying rock influences significantly. All of these problems, taking into account, designed to achieve their expected ideal value a new generation of electronic ignition systems are designed to prominence began. Giving information about the newly developed electronic ignition system and ignition system noneline, operating principles of electronic capsule, how they are used, technical features, the advantages and disadvantages are discussed in detail. Yet in our country who can not find himself a spacious work area, electronic capsule is thought to have a potential in the future will completely replace the ignition system noneline.

KEY WORDS: Blasting, electronic capsule, nonel capsule, electronic ignition system, nonel ignition system, environmental problems

1 GİRİŞ

Günümüzde patlayıcılar ve ateşleme sistemleri; gerek maden ve taş ocaklarında patlayıcı kullanımının ve yeni geliştirilen ateşleme sistemlerinin sağladığı yararlar, gerekse metro inşaatları, yeraltı boru hatları yapımı, çok katlı binaların patlayıcı ile yıkımı ve şehir içi temel kazıları gibi konularda en çok başvurulan yöntem haline gelmiştir.

Maden ve taş ocakları, yerleşim yerlerinin hızla yayılması ile günümüzde yaşam alanlarımızın içinde kalmıştır. Bu durum, ocaklarda patlatma uygulamalarının önemini bir kat daha artırmıştır. Çevresel etkiler artık göz ardı edilemez bir konumda bulunmaktadır. Temel kazıları, patlatmalı bina yıkımları, kontrollü patlatmaların yapılması, sarsıntının en aza indirilmesi, toz oluşumunun olabildiğince önüne geçilmesi ve patlatma esnasında oluşan hava şoku ve titreşimin minimize edilmesi; üzerinde detaylı çalışılması gereken konular haline gelmiştir.

Bu çalışmada, henüz Türkiye’de maliyeti yüzünden yaygın olarak kullanılmayan elektronik ateşleme sisteminin; üretim, maliyet ve çevresel faktörler üzerindeki etkilerinin nonel ateşleme sistemi ile mukayesesinin değerlendirilmesi yapılarak farkları ortaya konulmuştur.

1.1 ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ

Gelişen teknolojinin takibi ve günümüz rekabetçi koşullarında işletmelerin pazardaki etkinliklerini koruyabilmeleri açısından, şu andaki durumlarını gözlemleyebilmeleri ve ileriye dönük planlarını şekillendirmeleri açısından performans ölçümü son derece önemlidir.

Performans ölçümü, işletmelerde hedeflerin belirlenmesine ve sürekli iyileştirme kültürünün geliştirilmesine olanak sağlar. Yöneticiler içinse, çevre koşulları karşısında tetikte olmalarını, eksikleri tespit etmelerini ve çalışanlarıyla ilişkilerini geliştirmelerini sağlar. Performans ölçümünün faydaları bunlarla da sınırlı kalmayıp, her sektör grubu ve her

uygulama için en doğruyu en etkin yolla yapabilme yetisi kazandırmaktadır.

Bu anlamda firmaların özellikle patlatma ve ateşleme sistemleri konusunda yapacakları performans ölçümleri, gerek maliyet ve üretim miktarları, gerekse çevresel etkiler konusunda kendilerini değerlendirip, optimum koşullar altında çalışabilmeleri için gerekli olan standartları yakalamalarına olanak sağlayacaktır.

Patlatma işlemindeki verimlilik artışı, ürünün nihai aşamasına kadar ki sürecinde daha düşük maliyetle çalışmaya imkân sağlayacaktır. Patlatma ile iyi parçalanmış, kolay yüklenebilir gevşeklikte yığın elde etmek hem maliyeti hemde çevresel etkileri olumlu etkileyecektir.

Patlatma esnasında kullanılan ateşleme sistemleri, patlatma verimini etkileyen en önemli konulardan biri iken, bu sistemlerin gelişiminin geldiği nokta oldukça önemlidir.

Elektriksiz ateşleme sistemleri, elektrikli ateşleme sistemlerinin yarattığı riskleri ortadan kaldırdığı için daha güvenliydi. 2000’li yıllara gelindiğinde elektronik kapsüller bulundu ve kullanılmaya başlandı.

Patlatma işlemlerinde güvenliği artırmak, patlatma kaynaklı çevresel etkileri azaltmak ve kullanıcıların hassas gecikme aralığına ihtiyaç duyduğu temel gereklilikler için elektronik kapsüller mükemmel bir ateşleme sistemidir.

2 ATEŞLEME SİSTEMLERİ

Ateşleme sistemleri, patlatma operasyonlarının başlangıç kısmını oluşturmakla birlikte en önemli kademelerinden biridir. Ateşleme sistemlerinin ve elemanlarının seçimi, en az delik geometrisi ve patlayıcı madde seçimi kadar önemlidir. Amacına uygun şekilde belirlenmeyen ateşleme sisteminin seçimi, bir atım grubunu tek başına olumsuz yönde etkilemeye yeterlidir [1].

Günümüzde ateşleme sistemlerini 3 ana grupta toplamak mümkündür.

1. Elektrikli Ateşleme Sistemleri

- a) Elektrikli kapsüller
- b) Elektrikli gecikmeli kapsüller

2. Elektriksiz Ateşleme Sistemleri

- a) Emniyetli fitil-Tahrip kapsülü(adi fitil)
- b) İnfilaklı fitil
- c) Elektriksiz Kapsüller

3. Elektronik Ateşleme Sistemleri

Günümüzde yaygın olarak kullanılan elektriksiz kapsüllerin beraberinde getirdiği ve çalışmamızda da bahsedilen bazı olumsuz durumlar, patlayıcı üreten firmaları yeni ve daha kullanışlı bir kapsül geliştirmeye itmiştir. Dünya’da, maliyeti düşük, yüksek verime sahip ve çevreye duyarlı olan ateşleme sistemlerinin gelişimi hızla devam ederken, bunların en önemlisi ise elektronik ateşleme sistemleridir.

2.1 ELEKTRİKSİZ ATEŞLEME SİSTEMLERİ (NONEL)

Elektriksiz ateşleme sistemleri; günümüzde Türkiye’de taş ocakları, tüneller, maden ocakları, şehir içi temel kazıları gibi birçok alanda kullanılan en yaygın ateşleme sistemleridir.

Elektriksiz ateşleme sistemlerinin gecikme elemanı kapsül içerisindeki piroteknik (kendinden ekzotermik kimyasal reaksiyonları sürdürme yeteneğine sahip maddeleri kullanma bilimi) malzemedir. Çok hassas cihazlarla üretilmelerine karşın özellikle yüksek milisaniye gecikmeli kapsüllerde %2-3’lere varan sapmalar olabilmektedir. Bu sapmalar doğrultusunda patlatma teoride gerçekleştirilenden farklı sonuçlar verebilir. Bu da patlatma sonucu oluşan parçacık hızına ve deplasmana direkt etki edecektir.

Elektriksiz kapsüllerle yapılan atımlarda yaşanan zorluklar aşağıdaki gibidir.

- ✓ Kapsüllerin farklı numaralarla farklı sayılarda depolanması depo stok yönetimini zorlaştırılmaktadır.
- ✓ Şehir içi tünel patlatmaları “gecikme başına şarj” miktarı ile sınırlandırıldığından

ilerleme adımı düşürülmektedir. Örneğin İstanbul Metrosu için bazı noktalarda gecikme başına şarj 5 kg’dır. Ancak Lp serilerinin kısıtlı sayıda olmasından dolayı aynı numaralı kapsüllerle patlatmalar yapılmaktadır. İlerleme adımını düşürerek ve delik başına şarjı azaltarak firmalar sarsıntıyı azaltma yoluna gitmektedirler. Elektronik kapsüllerle yapılacak atımlarda gecikme konusu çözüleceği ve her delik farklı zamanlarda ateşlenebileceği için ilerleme adımı arttırılabilecektir. Bu da proje ömrünü kısaltacaktır ve müthiş bir karlılıkla proje sonlandırılabilir.

✓Tüneller de belirli numaralardan sonra gecikme aralıkları artmaktadır. 0, 25, 50, 100, 150 ms den başlayıp 1000, 2000,3000, 6000, 9000 ms gibi gecikmelerle atımlar yapılmaktadır. Bu da aynada oluşabilecek bir çatlak nedeniyle gaz kaçığına neden olup atım verimini düşürmekte ve iri parçalanma nedeniyle yüklenme-taşıma maliyetini arttırmaktadır. Atım çatlaklı formasyonlarda mümkün olduğu kadar kısa sürede sonlandırılmalıdır.

✓Yol yarmaları, barajlarda nihai şev düzlemi ve tünellerde düzgün tavan çizgisi elektriksiz sistemlerdeki sapmalar nedeniyle istenen şekilde olmayabilmektedir.

✓Bina yıkımlarında tercih edilen elektriksiz ateşleme sistemi ve infilaklı fitil birlikteliği hava şokuna neden olmaktadır.

✓Elektriksiz kapsüllerin tek test yöntemi ateşlemektir.

✓Atım kesmesi olması halinde iş güvenliği açısından riskler oluşmaktadır. Özellikle bina yıkımlarında atım kesmesinden sonra enkaza girmek son derece tehlikelidir.

✓Açık kazılarda yerleşim yerlerine yakın mesafelerde yüzeyde patlayan infilaklı fitil ve yüzey gecikme kapsülü hava şoku problemi yaratmaktadır.

✓Yerleşim yerlerine yakın açık kazılarda fazla sayıda delik patlatılması durumunda titreşim değerleri yüksek çıkabilmektedir. Elektriksiz kapsül sistemindeki gecikme aralıkları ve sapmalar nedeniyle titreşim dalgaları yüksek olmaktadır [2].

2.2 ELEKTRONİK ATEŞLEME SİSTEMLERİ

Elektronik kapsüller ilk olarak 1979 yılında İsveç'te üretilmiştir. Ancak üretim maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle pazarda yaygın olarak kullanılan bir sistem olamamıştır [2].

Elektronik kapsüller eksiksiz olarak programlanabilir kapsüllerdir. Bu kapsüller çift yönlü haberleşme yapabilirler. Her bir kapsül, mikroçipi üzerinde basılı olan ve fabrika tarafından atanan bir kimlik numarasına (ID) sahiptir. Kimlik numarası, kapsüller ve kontrol ekipmanı arasındaki iki yönlü haberleşmenin temelidir. Böylece kullanıcı patlatmanın hazırlanması sırasında kapsülün büyük aşamalarını test edebilir [3]. (Şekil-1)



Şekil-1: Elektronik Kapsül (Unitronic 600)

Elektronik kapsüller, ateşleme sinyali gönderildikten sonra, bireysel olarak çalışabilmeleri için yapılarında dijital zamanlama devreleri ve enerji depolama sistemleri içermektedir. Ayrıca scanner (tarayıcı-kaydedici) (Şekil-2) ve blaster (manyeto) (Şekil-3) denilen ekipmanları mevcuttur. Scanner gecikme süresini atamak ve test fonksiyonlarını yürütmek için bağlantı sırasında kullanılmaktadır. Scanner, kapsül kimlik numarasını, gerekli gecikme süresini okur ve kaydeder (Şekil -4). Blaster ise patlatma programlamasını nihai testlerini ve tetikleme için kullanılır.



Şekil-2: Tarayıcı (Scanner 200)



Şekil-3: Ateşleme Kutusu (Blast box R310)



Şekil-4: Scanner 200 ile tarama işlemi

Bağlantı için çift bakır damardan oluşan bir kablolama sistemi mevcuttur. Kabloma sistemi scanner' a bağlanarak gecikme atamaları kapsüle aktarılır ve bağlantının patlatma kutusuna aktarılarak testini yapmaya imkân tanır. Her bir kapsüle bağlandıkça, elektronik kapsül kaydedicisi

kapsül çalışmasını kontrol eder. Kapsül kimlik numarasını okur ve ardından gecikme süresi ile beraber bilgileri belleğine aktarır. Kullanıcı gecikme listesinin görüntülenmesi sırasında tarayıcının içerisine kaydedilmiş olan ve atanan gecikme süresini düzenleyebilir. Kapsüllere gecikme sürelerini atayabilmek için dört değişik yöntem vardır. Bunlar manuel, otomatik, gecikme numaraları ya da SHOT Plus-i yazılım yöntemidir. Tek bir seferde 1 milisaniyelik (ms) artışlarla 0 ile 10000 milisaniye arasında gecikme verebilir. Bir tarayıcının kapsül kapasitesi 800 adettir.

Bağlantılar tamamlandıktan sonra ya da kaydetme sırasında tarayıcı test menüsünü kullanarak sistemi test edebilir.

Patlatma kutusu, tarayıcı-kaydediciler ve kapsüller arasında iletişim sağlandıktan sonra, patlatma işlemi gerçekleştirilir. Patlatma kutusunda ateşleme anahtarı ve bazılarında parmak izi tarama sistemi mevcuttur ve yetkisiz kişiler tarafından kullanımı bu sayede engellenmektedir [4].

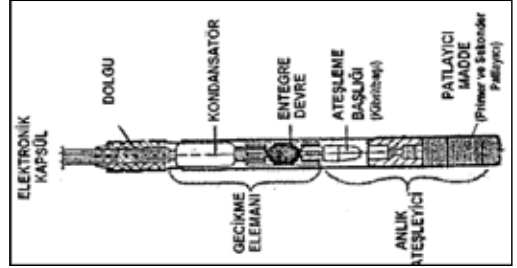
2.2.1 ELEKTRONİK KAPSÜLLERİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Genellikle elektronik kapsüllerin boyu 93mm, dış çapları ise 7.3 mm'dir. Diğer kapsüller gibi ana ve birincil şarj bölümleri bulunmaktadır. Ayrıca gecikme elemanı yerine bir mikroçip mevcuttur (Şekil-5).

Ana şarj yüksek hassasiyete sahip 750 mg Pentolite veya Petn'dan, birincil şarj ise 60 mg kurşun azitten oluşmaktadır. Uzunlukları 6m, 9m, 15m, 20m, 30m ve 37m'dir.

Pentolite: Askeri ve sivil amaçlı kullanılan yüksek hassasiyete sahip bir patlayıcı maddedir. Savaş başlıklarında ve kalıp yemleyiciler de kullanılır. Askeri Pentolite %50 TNT ve%50 PETN karışımından oluşur. Karışımın yoğunluğu 1.65 gr/cm^3 ve detonasyon (patlatma) hızı 7400m/sn 'dir. Sivil pentolite de ise PETN yüzdesi düşüktür. Detonasyon hızı 7800m/sn 'dir. Kapsül USBM güç değerlendirmesine göre

No: 8 star gücündedir. Çalışma sıcaklıkları; kullanım sırasında $-20^{\circ}\text{C}+70^{\circ}\text{C}$ ”, depolama sırasında $-20^{\circ}\text{C}+50^{\circ}\text{C}$ ”, nakliye esnasında $-40^{\circ}\text{C}+65^{\circ}\text{C}$ ” olmaktadır.



Şekil-5: Elektronik kapsülün bileşenleri.

Piroteknik gecikme elemanına sahip kapsüllerde, gecikme süreleri sabit olup bu sürelerdeki sapmalar fazladır. Buna karşılık elektronik kapsüllerin standart sapmaları ± 0.03 ms civarındadır. Mikroçipe verilen gecikme süresi silinebilir, değiştirilebilir ve tekrar tekrar yüklenebilir. Yükleme işi bittikten sonra tarayıcı tarafından tekrar kontrol edilebilir. Elektronik kapsüller, elektrikli kapsüllerin ölçümünde kullanılan patlatma galvanometresi ile ölçülmezler [5].

2.2.2 SİSTEMİN TANITIMI

Elektronik ateşleme sisteminde, kapsül içerisinde bilgisayarlarda olduğu gibi bir çip yerleştirilmiş olup istenilen hassasiyetlikte gecikme verilebilir.

Bu sistemde kapsüle istenen gecikme zamanı kullanıcı tarafından verilmektedir. Diğer sistemlerde ise üreticilerin verdiği gecikme aralıklarının kullanılması gerekmektedir. Elektronik kapsül sistemini, elektronik kapsül, bağlantı elemanları ile kontrol ve ateşleme ekipmanları olarak gruplayabiliriz.

Elektronik kapsüllerde patlayıcı kısım ile programlanabilir elektrot gecikme çipi kombinasyon halinde bulunur. Ateşleme makinesi, elektronik kapsüllere ayrı ayrı her bir gecikme zamanını vererek, patlatma enerjisinin kontrolü de sağlar.

2.2.3 KULLANIM ALANLARI

1. Çevresel problemlerin olduğu yerlerde
2. Düzgün şev kesme malzemeyi yılımı ve parçalanma istendiği yerlerde
3. Kontrollü patlatmalarda
4. Yerüstü patlatma uygulamalarında
5. Yeraltı ve Tünel patlamalarında
6. Özel patlatma uygulamalarında

2.2.4 SİSTEMİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Sistemin avantajları:

- ✓Yüzeyde patlayan herhangi bir eleman (yüzey gecikme kapsülü ve/veya infilaklı fitil) olmadığı için hava şoku problemleri ve hava şoku kaynaklı şikâyetler minimize edilmektedir.
- ✓Uzaktan kumanda ile 2 km öteden patlatma yapılabilmektedir. Bu da ateşleyicinin sahayı hâkim bir noktadan görerek ateşleme yapmasına imkân vermektedir.
- ✓Kapsüllerin arızalı olup olmadığı önceden test edilerek anlaşılabilir. Bu işlemi Scanner 200 ile yapmak mümkündür. Bu sayede temel kazılarında, bina yıkımlarında atım kesmesi ve/veya patlamayan kapsüller nedeniyle oluşacak riskler ortadan kaldırılacaktır.
- ✓0-10000 ms aralığında 1 ms aralıklar ile gecikmeler verilebilmektedir. Böylece birim zamanda açığa çıkacak enerjinin kontrolü planlayıcıda olacaktır ve sarsıntı problemleri ortadan kaldırılacaktır.
- ✓Fazla sayıda gecikme sayesinde temel kazılarında daha az sayıda büyük hacimli atımlar yapılarak proje kısa sürede bitirilebilecek, şikâyetler minimize edilecektir.
- ✓Elektronik kapsüller dış elektriksel tehlikelere karşı emniyetli şekilde dizayn edilmiştir. Yüksek akım gelmesi halinde kapsül ekstra dirençleri eriyerek devreyi kesmektedir. Akım patlayıcı olan kısmına geçmemektedir.

✓Elektronik kapsüllerin sapma payı sıfıra yakın olduğu için verilen gecikmede kapsüller patlamaktadır. Dolayısı ile aynı anda detonasyon olmayacak ve titreşimler doğal olarak düşecektir [2].

✓Kapsüller 0 ms aralığında sapma göstermektedir.

✓Depolama yapılırken farklı numaralarda kapsüller değil, tek kapsül başlığı depolanmaktadır.

✓Çevresel faktörlerin önemli olduğu yerlerde kolayca kullanılabilir.

✓Delik içi formasyona müdahale edilebilir ve ateşlemeden önce tüm sistem kontrol edilebilir.

✓Kullanımı kolay ve son derece emniyetlidir. Şifre kodu girilmeden patlamaz.

✓Başka bir patlatma cihazı ile patlamaz.

✓Elektronik çip sayesinde, gecikmelerin çakışma riski elimine edilmiştir.

✓Kontur patlamalarında (Düzgün bir ayna elde etmek için ve yeraltında aşırı kazı yapılmasını engellemek için kullanılan patlatma yöntemi.) düzgün kesit elde edilmesini sağlar ve kaya tahkimatını azaltır.

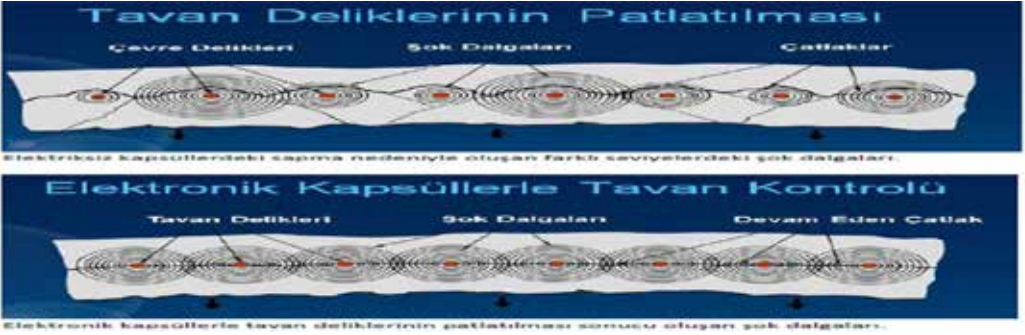
✓Patlatma sonrası tane boyutunu kontrol eder ve düzgün yığın oluşturur [1].

✓Bazı barajlarda gövde kazısı yapılırken pre-split atımları yapılmaktadır. Aynı anda patlayan pre-split atımları basamak sahanlığını bozmakta ve şev kaymasına neden olmaktadır. Bu gibi durumlarda çok küçük gecikmeler ile programlanmış elektronik kapsüller oluşacak şoku azaltarak hem şev stabilitesini koruyacak, hem de geri çatlakları minimize edecektir.

✓Çatlaklı formasyona sahip açık kazılarda titreşim nedeni ile delikler kompartmanlara bölünerek ateşleme yapılmaktadır. Bu da mevcut çatlakların genişlemesine zaman vermekte ve atım verimliliğini düşürmektedir. Atımlar yine delikler birkaç kompartmanla yapılabilir ancak elektronik kapsüllerle gecikme aralığı daha da daraltılabilir.

✓Fazla sayıda gecikme aralığı ile sarsıntı problemi olan tünellerde ilerleme adımı artarak proje ömrü kısılacaktır.
✓Şehir dışında aynı anda yakın noktalarda kalıp kurularak tünel içi invert ve kemer betonu dökülen veya kontak enjeksiyonu yapılan projelerde sarsıntı minimize edilerek mikro çatlaklar oluşması engellenecek ve kalıp açılması gibi problemler ortadan kalkacaktır.

✓Tünellerde tavan deliklerinin aynı anda patlaması istenmektedir. Ancak Lp serilerinde aynı numara kullanılsa dahi sapmalar nedeniyle aynı anda detonasyon olamamaktadır. Bunun sonucunda düzgün bir tavan çizgisi oluşmamakta ve beton-işçilik-zaman kayıpları yaşanmaktadır (Şekil-6). [6]



Şekil-6: Elektriksiz ve Elektronik kapsüllerle Tavan Kontrolü

Dezavantajları:

✓Fiyat bakımından diğer kapsüllere göre pahalıdır.
✓Kullanacak kişinin iyi eğitilmiş olması gerekir.

Avantaj ve dezavantajlarına bakılacak olursa maliyet ve kalifiye eleman dışında herhangi bir dezavantajı bulunmamaktadır. Maliyet açısından bakacak olursak başarılı bir patlatma, uygun bir parçalanma sağladığından, yükleyici makinenin randımanını artacak ve bu sebepten ötürü hem kullanılan iş makinelerinin verimi artacak hem de ekipmanlar, kapasitesinden daha fazla çalıştırılmayıp zorlanmayacağından, aşınmalardan veya arızalanmalardan kaynaklı bakım onarım masrafları düşük olacaktır. Ayrıca patlatma sonrası dozer ve greyder gibi yardımcı iş makinelerine duyulan gereksinim azalacaktır. Buda maliyet açısından son derece önemlidir. Çünkü dozer ve greyder işletme gideri yüksek olan iş makineleridir [7].

2.3 NONEL ATEŞLEME-ELEKTRONİK ATEŞLEME KARŞILAŞTIRMASI

Elektronik kapsüller gecikmeli kapsüllerle kıyaslandığında en büyük temel farklılık, gecikme elemanlarının farklı olmasıdır. Ana şarj ve primer şarj her kapsülde aynı yerde ve aynı patlayıcı madde olabilmektedir. Diğer bir farklılık ise, ateşleyici elemanın farklılığıdır.

Elektrikli kapsüllerde bulunan ateşleyici elemanı (kibrit başı) elektronik kapsüllerde bulunmamaktadır. Elektriksiz kapsüllerde kibrit başı yerine şok tüp kullanılmaktadır. Ateşleyici elektrikli ve elektriksiz kapsüllerde gecikme elemanından önce gelmektedir. Fakat elektronik kapsüllerde ateşleyici gecikme modülünden sonra gelir. Bu tür kapsüllerdeki gecikme sürelerindeki sapma elektronik kapsüllere göre çok daha fazladır.

Elektriksiz kapsüllerde iki farklı ürün bulunmaktadır. Açık ve yeraltı işletmeleri için ayrı kapsüller üretilmektedir. Açık işletmelerde 25 ms aralıklarla artan 40'a

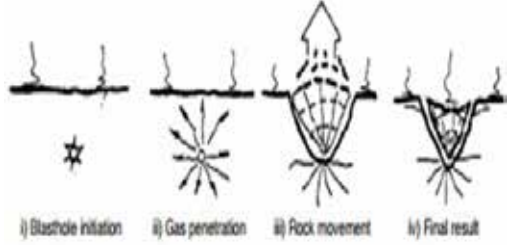
yakın gecikme bulunmaktadır. Yeraltı işletmelerinde ise 100-500 ms aralıklarla artan 25-30 farklı seri üretilebilmektedir. Elektronik kapsüllerdeki mikroçipe 1ms artışla 0-10000 ms arasında gecikme verilebilir. Çok hassas patlatmaların yapıldığı yerlerde standart kapsüller sınırlayıcı olmakta ve yeterli sayıda seri bulunmadığından kritik noktalarda patlatma yapılamamaktadır.

Maliyet açısından değerlendirme yapılacak olursa elektronik kapsüllerin birim maliyeti gecikmeli kapsüllere göre çok daha fazladır. Ancak patlatmada görünmeyen maliyetler göz önüne alındığı zaman kepçe verimi, büyük kayaların tekrar patlatılması, çevreye verilen maddi hasarın karşılanması gibi çok daha uygun olduğu görülmektedir.

3. ELEKTRONİK ATEŞLEME SİSTEMLERİNİN DİĞER PİROTEKNİK UYGULAMALARA GÖRE BAŞARILI OLMA NEDENLERİ

Patlatma işlemi; kimyasal zincir reaksiyonu tesiri ile patlayıcı maddenin ani yanması ile başlayan karmaşık bir sistemdir.

Bu yanma sonucunda gaz hacmi hızla büyür ve sıcaklığın hızla artması sonucu detonasyon basıncı oluşur. Patlamadan birkaç milisaniye sonra detonasyon basıncı azalarak şok dalgaları halinde kayaç içinde yayılmaya devam eder. Şok dalgalarının yayılımı ile kayaç içerisinde çatlaklar oluşmaya başlar. Şok dalgasının yayılımı sırasında patlama sonucu açığa çıkan yüksek sıcaklık ve basınçlı hava bu çatlaklardan ilerleyerek kayacın parçalanmasını sağlar (Şekil-7).



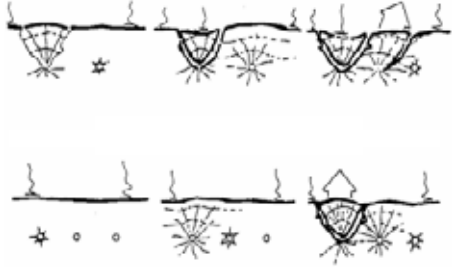
Şekil-7: Patlatma evreleri

Patlatma deliklerinin patlaması sonucu "V" şekilli özgül yüzey oluşumu sağlanır. İki deliğin aynı anda patlatılması ile kayaçlar birbirlerini sıkıştıracağından özgül yüzey oluşumu engellenir ve büyük kayaçlar oluşur (Şekil-8).



Şekil-8: Eş zamanlı patlatma

Fazla yüzey, patlamayı daha verimli hale getirmektedir. Eğer gecikme zamanı doğru verilmişse daha fazla özgül yüzey oluşturularak patlatma verimi artırılabilir. Bu yüzden sıralı patlatma yapabilmek önemlidir (Şekil-9). [8].



Şekil-9: Sıralı patlatma

Parçalanma için yeterli saniye tek bir delik için 0 milisaniye/metre ile 6 milisaniye/metre arasında değişmektedir. Kayaç ilerlemesi ise tek bir delik için 0 milisaniye/metre ile 10 milisaniye/metre arasında değişir. Bu veriler ile farklı aralıklar

ayarlanarak mükemmel ötelenme ve parçalanma elde etmek mümkündür.

Bazı denemeler neticesinde çok sert kayaçları patlatmak için zaman aralıklarının 1-2 milisaniyelik farklarla verilmesi gerektiği tespit edildi. Kireçtaşındaki denemeler neticesinde de 450 mikro saniyeli gecikmelerde en yüksek verim elde edildi.

Görüldüğü gibi yapılan araştırmalar neticesinde patlatma olayının gerçekleşmesi çok hızlı sürede gerçekleşip bitmektedir. Piroteknik yöntemler buna yetişmemektedir. Daha verimli bir patlatma için milisaniyelerle gecikme verilebilen elektronik ateşleme sistemlerinin uygulanması daha kesin sonuçlar vermektedir [4].

4. UYGULAMALAR

“Kartal Meeting Point Projesi”nde elektronik kapsül kullanılarak yapılan patlatmalı temel kazısında Çizelge-1 ve Çizelge-2’deki ölçüm değerleri elde edilmiş ve delik sayıları ile ölçüm mesafeleri birbirine en yakın dört atım değerlendirmeye alınmıştır.

Çizelge-1: Exel ve Elektronik Kapsül Atımlarının Verileri

1 Karşılaştırma	07.08.2015		11.08.2015	
	Exel Kapsül	Unstronco600 Kapsül		
Delik Adedi	28	30		
Delik Boyu	4,5	4,5		
Delikler Arası Mesafe	2,5	2,5		
Sıralar Arası Mesafe	2,5	3		
Gecikme Başına Şarj(kg)	5,8	6,5		
Toplam Şarj (kg)	165	200		
Özgül Şarj (kg/m ³)	0,206	0,192		
Özgül Delme	0,160	0,133		
Max. Parçacık Hız (FPV) (mm/s)	5,72	3,43		
	15,62	10,67		
	56,89	51,2		
Frekans (f) (Hz)	85,33	36,27		
	125,5	118,7		
Hava Şoku (dB)	126,4	123,7		
	116	116		
Mesafe (R) (m)	50	37		

Çizelge-2: Exel ve Elektronik Kapsül Atımlarının Verileri

2 Karşılaştırma	24.08.2015		13.08.2015	
	Exel Kapsül	Elektronik Kapsül		
Delik Adedi	30	30		
Delik Boyu	4,5	5,0		
Delikler Arası Mesafe	2,5	2,5		
Sıralar Arası Mesafe	2,5	3		
Gecikme Başına Şarj(kg)	5,3	7,8		
Toplam Şarj	160	235		
Max. Parçacık Hız (FPV) (mm/s)	6,73	3,94		
	24,26	8,76		
	85,33	73,14		
Frekans (f) (Hz)	56,89	64		
	127,3	125		
Hava Şoku (dB)	130,6	128,3		
	70	78		
Mesafe (R) (m)	65	64		

Her iki karşılaştırmada da görüleceği gibi delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı artırılmış, gecikme başına şarj %10,7 ile %32 arasında artırılmış ve delik boyları uzatılmıştır. İlk karşılaştırmada (Çizelge 1’de görüleceği üzere) birinci cihaz ile aynı noktadan, ikinci cihaz ile on üç(13) metre daha yakın noktadan ölçüm alınmasına rağmen titreşim ve hava şoklarında fark edilir düzeyde düşüş gözlenmektedir. Ayrıca gecikmelerin tarafımızdan değiştirilmesi ile parça boyutunun da gözle görülür ölçüde iyileştiği anlaşılmıştır. İyi parçalanma ve kesin zamanlı detonasyon beraberinde (pozitif yan etkiler) sarsıntının da düşmesine yol açmış ve birim delgi başına üretimimizi arttırmıştır [2].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektriksiz kapsüllerin çok hassas üretilmelerine karşın özellikle yüksek milisaniyelik gecikmeli kapsüllerde % 2-3 sapma göstermesi, teoride gerçekleşenden farklı sonuçlara yol açabilmekte buda parçacık hızına ve deplasmana direkt etki etmektedir. Elektronik ateşleme sistemlerinde ise elektriksiz kapsüllerde yaşanan bu durum ortadan kalkmıştır. Elektronik kapsüllerde tek bir seferde 1 milisaniyelik artışlarla 0 ile 10000 milisaniye arasında gecikme verilebilmekte dolayısı ile gecikme konusu böylece çözümlenerek, her delik farklı zamanlarda

ateşlenebileceği için ilerleme adımı artırılacaktır.

Elektriksiz ateşleme-infilaklı fitil ikilisinin neden olduğu titreşim ve hava şoku etkisi, elektronik ateşlemede yüzeyde patlayan herhangi bir eleman olmadığı için ve elektronik kapsüllerin sapma payı sıfıra yakın olduğundan verilen gecikmede kapsüller patlatılarak detonasyon, titreşim ve hava şoku etkileri minimize edilmiştir.

Yukarıdaki uygulama örneğinden de anlaşılacağı üzere, elektronik ateşlemeli patlatmalarda çevresel etkilerin elektriksiz ateşlemeye göre daha etkin değerler verdiği gözlenmiştir. Ayrıca elektronik ateşleme sisteminde yığın tane boyutunun elektriksiz ateşlemeye göre daha ideal boyutlarda parçalanması söz konusu olup böylece nakliye ve üretimin hızlanması ile cevherin birim maliyetinde azalmalar beklenmektedir. Tane boyutunun idealleşmesi; patlatma sonrası açığa çıkan büyük boyuttaki kayaçların tekrardan patlatılması veya küçük parçalara ayrılması için iş makinelerinin kullanılmasıyla hem zaman hem de maddi zarara uğramayı engelleyecektir.

Ayrıca en güvenilir sistem olan elektronik ateşleme sistemlerinin kullanılması, patlatmalardan kaynaklanan iş kazalarının da önüne geçecektir. Dünya çapında daha etkin olarak kullanılan bir yöntem olan elektronik ateşleme sistemi, ülkemizde maliyetlerin gün geçtikçe diğer yöntemlerle yarışabilecek konuma gelmesi ile de kendi uygulanabilirliğini artırmaktadır. En önemlisi de elektronik ateşleme sistemlerinin ülkemizde kullanılmasının yaygınlaştırılması dolayısı ile insanların madenlere ve etkilerine bakış açılarının olumlu yönde değişmesine etki edecektir.

Orta ve uzun vadede nonel ateşleme sistemlerinin yerini alma potansiyeline sahip elektronik ateşleme sistemleri kullanımının yaygınlaştırılmasına ilişkin yasal düzenlemelerin yapılarak kullanımının

yaygınlaştırılması önündeki engellerin ortadan kaldırılması gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1]Alpaydın, E., vd., Patlayıcı Maddeler ve Patlatma Teknikleri. ANKARA: Nitro-Makdnx Eğitim Yayınları
- [2]M. Yurttaş, O. Özkul, O. Bayındır, U. Atlıhan, 2015, Kartal Meeting Point Projesinde Uygulanan Patlatmalı Temel Kazısında Elektronik Kapsül Kullanımının Hava Şoku, Sarsıntı ve Verimlilik Açısından İncelenmesi, 8. Delme-Patlatma Sempozyumu, 19-20 Kasım, İSTANBUL
- [3]Infomine D. Scott Scovira NA Group Manager Advanced Mining Solutions Orica USA, Inc. Denver, 2009
- [4]S. Cengiz, 2014, Türkiye'deki Elektronik Ateşleme Uygulamaları, LBT, Kütahya
- [5]Heinemeyer, F., Röh, P. ve Steiner, U., 1988; "Elektronik Ateşleme Sisteminin Tasarımı ve İşletilmesi Dynamit Nobel AG", Nobel Hefte, Heft 2/3, s. 103-108.
- [6]Orica-Nitro, 2015, Eğitim Semineri, İstanbul
- [7]Yeni Rehber Ansiklopedisi, Yeni Hayat Ansiklopedisi, Büyük Larousse Ansiklopedisi <http://www.delmepatlatma.org/patlayici-madde-tarihcesi-syfdty-246.html> (23.12.2014)
- [8]G.V.R. Landman " How electronics can release the imagination" (2010)

Kentsel Alanda Patlatmalı Kazılarda Proje Adımları

Project Steps of Excavations by Blasting in Urban Area

Ü. Özer, Ü. Kalaycı, A. Karadoğan, M.C. Özyurt

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar/İstanbul.

ÖZET Depremesel kuşakta bulunan Türkiye’de, pek çok binanın yapısal ve bölgesel özelliklerinden dolayı güvenlik açısından risk altında bulunması, zaman içerisinde artan nüfus ve çarpık kentleşmenin beraberinde getirdiği sorunlar nedeniyle kentsel dönüşüm çalışmaları hız kazanmıştır.

Kentsel dönüşüm çalışmalarının artmasına paralel olarak artan patlatmalı kaya kazısı işleri, çevresel problemleri de beraberinde getirmektedir. Şehir merkezlerinde bulunan patlatma sahalarında, risk noktalarının çok olması, patlatmanın çevresel çıktılarının minimize edilmesi ve sonuçlarının uygun yöntemlerle değerlendirilmesinin önemini artırmaktadır.

Bu çalışmada, yerleşim yeri içerisinde sürdürülen bir patlatmalı kazı çalışması esnasında, izlenmesi gereken proje adımları ve alınması gereken çevresel önlemler özetlenmiştir.

ABSTRACT Many buildings are under risk in terms of security due to the structural and regional properties of Turkey taking place in the seismic belt. Urban transformation project gain speed due to the increased population and irregular urbanization as time progressed.

Urban transformation projects have increased in parallel with the increase of rock excavation operation by blasting, thus causes environmental problems. Urban blasting operations have a lot of risk points, under consequences of that, the importance of minimizing the environmental outcomes and appropriate evaluation methods for results raised.

In this study, the project steps and environmental protection precautions for an urban blasting operation was summarized.

1 GİRİŞ

Başarılı bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan biri atımın çevresel etkiler açısından emniyetli olmasıdır. Risk noktası çok olan şehir içi atımlarda çevresel duyarlılıklar dikkate alındığında; patlatma kaynağından belirli bir uzaklıkta bulunan bir yerleşim biriminin ya da tesisin, patlatma sonucunda oluşacak yersarsıntısı, taş savrulması ve hava şoku gibi sonuçlardan etkilenmemesi için, patlatmanın hasara sebep olabilecek sonuçlarının uygun yöntemlerle ele alınması gerekmektedir. (Khandelwal, 2007; Karadoğan, 2008).

Patlatma kaynaklı titreşimler kaya kütlelerinde ve yapılarda hasara neden olur. Kaya zemin veya yapıda meydana gelen bu hasara neden olan titreşim parametreleri

titreşimin büyüklüğü, frekansdır. Her malzeme aynı frekans ve titreşim büyüklüğünde aynı hasarı almaz. Bunun nedeni malzemelerin içyapısı, yani titreşimlerin yayılma ortamıdır. Günümüzde kabul gören hasar normları, patlatma kaynaklı titreşimin yarattığı hasarı belirlemede bu parametreleri kullanır (Dowding, 1985; Karadoğan, 2008; Kalaycı, 2011).

Birleşik Devletler Madencilik Bürosu, açık ocak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntısının yapılara olan etkisi ve zararlarıyla ilgili çalışmasında, sadece parçacık hızlarının değil, frekansların da hasar oluşumunda etkili olduğu vurgulanmaktadır. İlgili rapora göre; Parçacık hızı hala en iyi yer titreşimini

tanımlama ve kontrol aracıdır. Düşük frekanslı (<40 Hz) patlatmalarda zarar verme potansiyeli yüksek frekanslı (>40 Hz) patlatmalarda söz konusu olan potansiyelden daha fazladır (USBM, 1989).

Patlatma sonucu oluşan gerilme basıncı ve gaz basıncının etkisi ile ana külteden ayrılarak savrulmuş kaya parçaları insan yaralanmalarına ve yapılarda ciddi hasarlara neden olabilir. OSMRE'nin önerdiği, ABD'de uygulanmakta olan federal düzenlemeye (30 CFR Sec. 816.67 c) göre; kaya savrulma mesafesi, atım noktası ile risk noktası arasındaki mesafenin yarısından fazla olmamalıdır (Bilgin, 1999; OSMRE Federal Regulations, 2004; Hüdaverdi ve Kuzu, 2005).

Patlatma sırasında açığa çıkan gürültü, önlemlerin yetersiz kalması durumunda hava şoku dalgalarına dönüşür. Şok dalgaları yeterince büyükse, binalarda hasar meydana getirebilir. Şok dalgalarının yayılmasında rüzgar yönü, rüzgar hızı ve sıcaklık gibi atmosferik koşullar da etkilidir (Olofsson, 2002; Kuzu, 2011).

Patlatma kaynaklı çevresel etkilere ait hasar limit değerleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

2 PROJE ADIMLARI

Şehir içinde bulunan ve sert kaya biriminden oluşan bir kazı sahasında yapılacak patlatma faaliyetlerinde izlenmesi gereken proje adımları Şekil 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Patlatma kaynaklı çevresel etkilere ait hasar limit değerleri

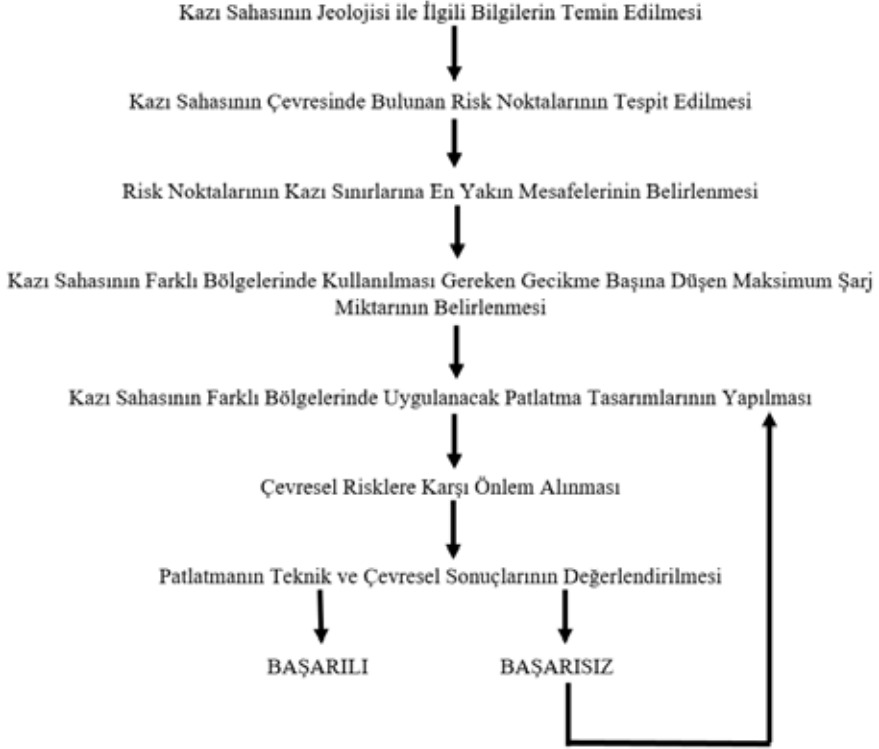
Çevresel Etki	Hasar Limiti	Norm
Kaya Savrulması	$L_{max} = 260 \times D^{2/3}$ L_{max} = Maksimum kaya savrulma mesafesi (m), D= Delik çapı (inç)	İsveç Normu (Lundborg ve diğ.,1975)
Titreşim	Titreşim Frekansı=1 Hz için; Titreşim Hızı=5 mm/sn Titreşim Frekansı=4-10 Hz için; Titreşim Hızı=19 mm/sn Titreşim Frekansı=30-100 Hz için; Titreşim Hızı=50 mm/sn	Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Resmi Gazete: 04.06.2010 – 27601
Hava Şoku	140 dB	Siskind vd. USBM RI 8507, 1989

Şehir içi patlatmalı kazılarda, patlatma tasarımlarının yapılması, patlatmanın teknik ve çevresel sonuçlarının değerlendirilerek tasarımların revize edilmesi dinamik bir süreçtir. Süreç Şekil 2'de şematize edilmiştir.

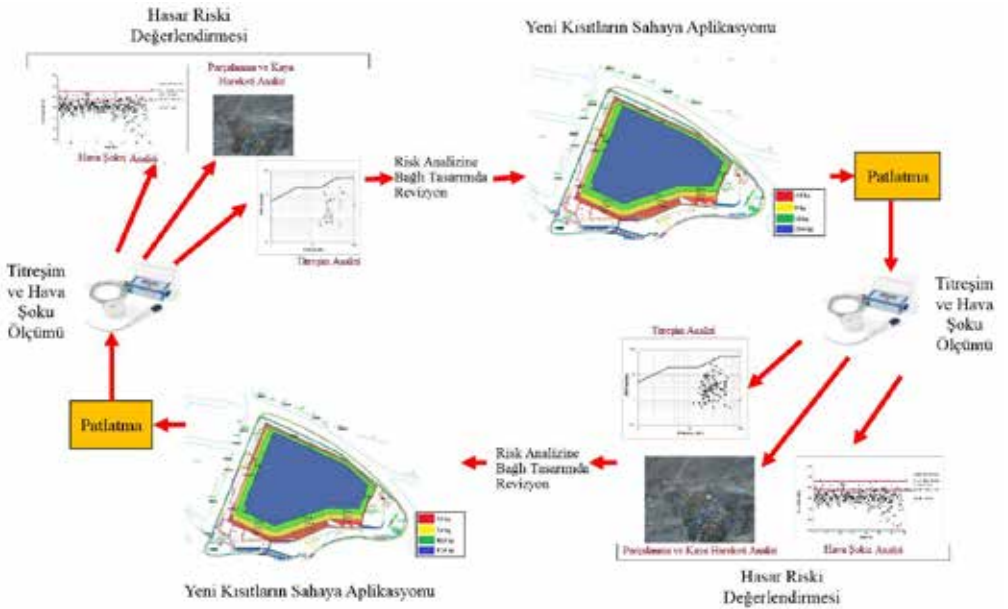
2.1 Kazı Sahasının Jeolojisi ile İlgili Bilgilerin Temin Edilmesi

Şehir içi patlatmalarının ilk proje adımı kazı sahasına ait jeolojik bilgilerin temin edilmesidir. Çevre jeolojisi ve bu çevrede yer alan jeolojik birimlerin özelliklerinin titreşimler üzerinde büyük etkisi vardır. Homojen ve masif kayalar kütlelerinde titreşimlere neden olan elastik dalgalar her yönde yayılırlar iken, bu durum kompleks jeolojik yapılarda yönlere göre değişen bir yayılma zayıflama gösterirler (Kuzu, 2011).

Titreşimler, zemin özelliği taşıyan bir tabaka ile örtülü kayalık bir ortamda yayıldığında, frekans ve genlikleri zemin özelliklerinden etkilenir. Zeminin elastik modülü, genellikle kayaların elastik modülünden daha düşüktür. Bu nedenle, bu tür malzemelerde dalga yayılım hızı ve titreşim frekansı azalmakta, ancak deplasman örtü tabakasının kalınlığına bağlı olarak belirgin bir şekilde artmaktadır (Jimeno ve diğ., 1995; Karadoğan, 2008).



Şekil 1. Şehir İçi Patlatmalı Kazılarda İzlenmesi Gereken Proje Adımları



Şekil 2. Hasar Riski Değerlendirmesine Bağlı Dinamik Tasarım Süreci

2.2 Risk Noktalarının Tespit Edilmesi

Şehir içi kazı sahalarının yakınında pek çok risk noktası (binalar, yollar, ankraj ve kazıklar ile altyapı iletim ve dağıtım hatları vb.) mevcut olduğundan, farklı yapısal özelliklere göre sınıflandırılması ve uygun metodlarla değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu risk noktaları ile kazı sınırları arasındaki mesafeler topografik ölçümler ile belirlenmelidir.

Çalışma öncesinde çevre binalarda yerinde tespit yapılmalı, hasarlı yapılar belirlenmeli, titreşim sebebiyle oluşabilecek minör hasarlar için hane içlerinde önlem alınmalıdır. Çevre yapıların iç ve dış fotoğrafları alınarak mevcut durumu kayıt altında tutulmalıdır. Ayrıca, altyapı iletim ve dağıtım hatlarının güncel bilgileri belediyelerden temin ve teyit edilmelidir.

2.3 Maksimum Parçacık Hızı Tahmini

Patlatma kaynaklı titreşim yayılımı üzerine geçmişten günümüze pek çok değerli çalışma ortaya konmuştur. Bu çalışmaların temel amacı çevresel sorunları izole etmek, yan amaçlar ise patlatmanın performansını denetlemek ve yapıların tepkisini tahmin ve kontrol etmektir (Dowding 1985; Ghosh 1983). Dowding 1985; Ghosh 1983; Gupta vd, 1988; Nicholls vd, 1971, ölçekli mesafe, gecikme başına şarj miktarı ve maksimum parçacık hızını belirleyici parametreler olarak göz önünde bulundurmuş ve analiz tekniği olarak istatistiksel yöntemler kullanmışlardır.

Bilindiği üzere, patlatma kaynaklı titreşim dalgaları taşıdıkları enerji düzeyinde hasara neden olurlar. Titreşimlerin enerji seviyeleri parçacık hızı (mm/sn), parçacık yer değiştirmesi (mm), parçacık ivmesi ve dalga frekansı ile tayin edilir. Bu bileşenler birbirlerine dönüştürülebilir niteliktedirler (Dowding 1985; Ambraseys et al. 1968; Jimeno et al. 1995; Karadoğan 2008; Faramarzi et al. 2014).

Parçacık hızı tahmininde konunun karmaşıklığı ve ortamın kaotik yapısı nedeniyle hala tam çözüm sunabilecek tahmin metodu geliştirilememiştir. Yine de yaygın bir şekilde kabul görmüş ampirik maksimum parçacık hızı yayılım denklemi 1 nolu eşitlikteki gibi üssel eşitlik formunda yazılabilir (Dowding 1985);

$$PPV = k * (R / W^{1/2})^{-\beta} \quad (1)$$

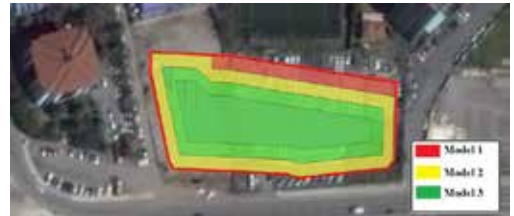
Burada *PPV* maksimum parçacık hızı, *W*, gecikme başına maksimum şarj, *R* atım noktası ile ölçüm istasyonu noktası arasındaki mesafe, *k* ve β ise saha sarsıntı yayılım katsayılarıdır.

2.4 Kazı Sahasının Farklı Bölgelerine Uygulanacak Patlatma Tasarımlarının Yapılması

Sonuçlar bakımından değerlendirildiğinde, maden ve taşocaklarındaki üretim atımları ile şehir içi patlatmalı kazıların belirgin farkları vardır. Burada göz ardı edilmemesi gereken en önemli husus, parça boyutundan ziyade çevresel etkileri minimize etmektir.

Risk noktalarının çokluğu, optimum parça boyutunun elde edilmesinde kısıtlayıcı bir parametredir. Bu nedenle, şehir içi kazı sahalarında risk noktalarını korumaya yönelik gevşetme atımları yapılarak kaya kazısına devam edilebilir.

Bir sahanın farklı bölgelerine farklı tasarım modelleri gerekebilmektedir. Bu husus çalışma başlamadan önce her mesafe için ayrı ayrı belirlenmelidir. Şekil 3'te örnek çalışmaya yer verilmiştir.



Şekil 3. Bir şehir içi kazı sahasında uygulanmış patlatma planı

Şekil 3'te görüldüğü üzere, Model 1, temel kazı alanının tüm yerlerinde kullanılabilmesi gibi, kazı alanının risk söz konusu olan yapılara 15-20 m mesafeye kadar olan uzaklıklarda, Model 2 kazı alanının en yakın riskli yapıya 20 m mesafeden daha uzak yerlerinde Model 3 ise kazı alanının en yakın riskli yapıya 25 m ve üzeri mesafelerde yapılacak patlatmalarda tercih edileceğini göstermektedir.

2.4.1 Şarj Hesabı

Deneme atımları veya önceki çalışmalar sonucu, ilgili saha için elde edilmiş saha sarsıntı yayılım katsayıları (k ve β) belirlendikten sonra, ölçekli mesafeye dayalı parçacık hızı tahmin denkleminde (Eşitlik 1) risk noktasının mesafesi ve türüne bağlı hasar limit değerleri yerine konularak, o noktada gecikme başına kullanılması gereken en yüksek patlayıcı madde miktarı belirlenir. Tasarımlarda bu patlayıcı madde miktarı dikkate alınarak basamak boyu ve delik çapı tespit edilir. Diğer tasarım parametreleri, seçilen basamak boyu ve delik çapından faydalanılarak literatürdeki eşitlikler ile hesaplanır.

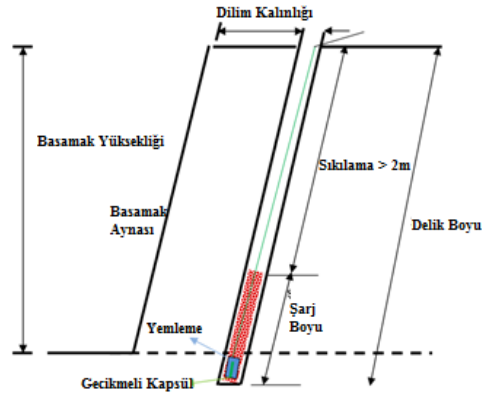
İstanbul ve çevresindeki jeolojik birimlere ait saha sarsıntı yayılım denklemlerinin bulunduğu pek çok çalışma literatürde mevcuttur (Özer vd., 2011a-b; Özer vd., 2014a-b; Özer vd. 2015) Deneme atımları yapmanın mümkün olmadığı koşullarda, uygulanacak ilk patlatmalarda bu denklemlerden faydalanılabilir.

Ayrıca, risk analizi yapılarak elde edilen değişik mesafelerde gecikme başına kullanılması gereken en yüksek patlayıcı madde miktarları dikkate alınarak, kazı sahasının farklı bölgelerinde uygulanacak patlatma tasarımları yapılmalıdır.

2.4.2 Mini Basamak Uygulaması

Şehir içi patlatmalarda, kazı sahasının yakınında birçok risk noktası mevcut olmasından ötürü, genellikle patlatma

geometrisi tasarımlarının mini basamak uygulaması şeklinde mesafenin fonksiyonuna bağlı bir değişken olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Bunun anlamı risk noktalarına uzak mesafelerde nispeten daha büyük basamak yükseklikleri ile çalışılabilecekken çevre yapılara yaklaşırken tedricen azalan yüksekliklere geçilmesi gerekecektir. Ayrıca, risk noktalarına yaklaştıkça patlayıcı madde miktarını düşürmek amacı ile daha küçük delik çapları tercih edilmelidir.



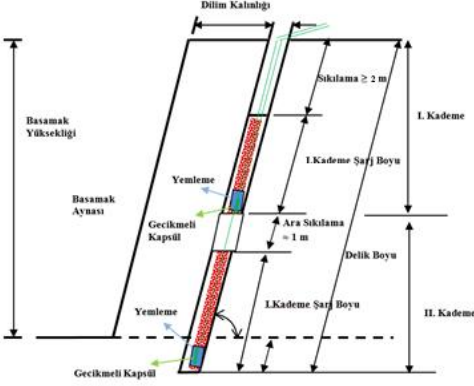
Şekil 4. Mini Basamak Uygulaması

Patlatma deliklerinin dik delinmesi; gürültü, hava-şoku, fırlayan-kaya sorunları ve yetersiz parçalanma sonucunu yaratır. Bu sorunun çözümü aynaya paralel delik delinmesidir. Eğimli delik delmek daha zor olmasına karşın; daha az patlayıcı kullanarak daha fazla hacimde kayanın parçalanmasını sağlar. Ayrıca, bir sonraki patlatmalar için düzgün ayna ve duraylı bir şev elde edilmesi bakımından önem taşır (Bilgin, 2005).

2.4.3 Sıkılama ve Ara Sıkılama

Daha verimli bir patlatma için enerjinin hapsedilmesi ve taş savrulmasının minimize edilmesi için sıkılama büyük önem taşımaktadır. Deneyimler sonucu sıkılama boyutunun 2 metreden az olmaması gerektiği tespit edilmiştir. Risk noktalarına çok yakın

bölgelerde gecikme başına düşen maksimum şarj miktarı, bir mini basamağın gevşetilmesi için yeterli miktarı karşılamamaktadır. Böyle durumlarda, ara sıkılama uygulanarak tek delik için iki gecikme verilebilir (Şekil 5).



Şekil 5. Ara Sıkılmalı Mini Basamak Uygulaması

2.4.4 Gecikme Aralığı

Gecikme aralığında dikkat edilmesi gereken en önemli husus, sismik dalgaları üst üste bindirmeyecek ve çok yüksek periyotlara ulaşmayacak şekilde sönmüş bir spektrum elde edebilmektir. Bu hususa istinaden ilk çalışmalar Duvall (1963) tarafından ortaya atılmış ve bu çalışmalarda kireçtaşı sahasında yapılan testlere göre gecikme aralıkları 8 ve 9 ms olarak önerilmiştir (Jimeno ve diğ., 1995).

Langefors (1963) gecikme aralıkları 3 kat fazla olan zincirleme şekilde patlatılan bitişik haldeki patlatma deliklerinde patlatmadan kaynaklanan titreşim periyotları arasında sanki sinyaller absorbe edilmişçesine hiçbir etkileşim olmadığını varsayılabilmesine dikkat çekmiştir.

Ara sıkılmalı mini basamak uygulamasının önemli bir avantajı da çift yemleme yapılmak suretiyle bir deliğe iki farklı gecikme verilebilmesidir. Böylece hasara neden olan gecikme başına şarj miktarı önemli ölçüde düşürülebilir.

2.5 Çevresel Etkilere Karşı Alınması Gereken Önlemler

Şehir içinde yapılan patlatmalı kazı faaliyetlerinde seçilen ateşleme sistemi, patlatma kaynaklı çevresel etkilerin derecesi üzerinde rol oynamaktadır.

(Yurttaş vd., 2015)'te, elektronik kapsüller ile yapılan patlatmalarda ortaya çıkan titreşim ve hava şoku gibi çevresel etkilerin, elektriksiz ateşleme sistemleri ile yapılan patlatmalarda ortaya çıkan çevresel etkilere nazaran oldukça düşük boyutlarda olduğu ortaya konmuştur. Bununla birlikte çevreden gelen şikayetler azalmıştır. Bu sonuçtan yola çıkarak, özellikle risk noktalarına yakın bölgelerde yapılacak patlatmalarda, elektronik kapsüller kullanılmalıdır.

2.5.1 Patlatma Kaynaklı Titreşimi Azaltmak için Alınabilecek Önlemler

Patlatma kaynaklı oluşan yer sarsıntılarının karakteristiklerini etkileyen parametreler pratik olarak patlatma sonuçlarını etkileyen parametreler ile aynıdır.

Patlatma yapılacak yerin jeolojisinin ve kayanın mekanik özelliklerinin, yersarsıntısı üzerinde ciddi etkileri vardır.

Homojen ve masif kaya kütlelerinde titreşim her yönde dağılır, fakat kompleks jeolojik yapıda olan kaya kütlelerinde dalga yayılımı yönüne göre değişebilir ve sonuç olarak daha değişik bir sönmüş şekline gözlenir veya farklı bir yayılım karakteri gösterir.

Patlatmadan kaynaklanan titreşimi azaltmak için alınabilecek önlemler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

- Sahanın farklı bölgelerinde kullanılması gereken maksimum şarj miktarı belirlenmeli, ve patlatma tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulmalıdır.
- Her delik ayrı gecikme aralığında patlatılmalıdır.
- Kaya birimine en uygun patlayıcı türü seçilmelidir.

2.5.2 Patlatma Kaynaklı Hava Şokunu Azaltmak için Alınabilecek Önlemler

Çevresel şikayetlerin büyük bir bölümü hava şokundan kaynaklanmaktadır. Hava şoku, insanları psikolojik olarak rahatsız ederek, algı seviyesini arttırmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Madencilik Bürosu'nun (USBM) RI 8507 yönetmeliğine (Siskind vd., 1989) göre, hava şokunun 1 dB artması, algı seviyesini 10 dB arttırmaktadır. Bu nedenle, patlatma kaynaklı hava şoku düşürülerek algı seviyesi düşürülebilir.

Patlatmadan kaynaklanan hava şokunu azaltmak için alınabilecek önlemler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur;

- Uygun delik geometrisi, sıkılama boyu ve gecikmeli ateşleme sistemi kullanılmalıdır.
- Delme öncesi patlatma aynası incelenerek gaz deşarjına yol açabilecek bir jeolojik olgu olup olmadığı incelenir. Böylesine bir jeolojik olgunun varlığında o bölgeye daha az patlayıcı madde yerleştirilir.
- Rüzgar yönünün kritik olduğu zamanlarda ateşleme yapılmamalı.
- İnfilaklı fitil zorunlu olmadıkça kullanılmamalı, kullanılırsa da üzeri 7-10 cm kum ile örtülmeli.

Unutulmamalıdır ki, yapılan tahminler, yaklaşık değerler vermektedir. Herhangi bir yerdeki gerçek hava şoku ve gürültü seviyeleri atmosferik ve topoğrafik şartlarla birlikte atım geometrisine bağlı olmaktadır. Bu nedenle, çok ciddi şikayetlerin yaşandığı bölgelerde, bu tahminlere ek olarak hava şoku ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.

2.5.3. Patlatmadan Kaynaklanan Taş Savrulmasını Azaltmak İçin Alınabilecek Önlemler

Patlayıcı maddenin kaya kütlesi içinde iyi bir şekilde hapsedilmediği durumlarda, reaksiyon sonucu oluşan yüksek basınçlı gaz ürünler bulabildikleri çatlaklardan atmosfere

erken deşarj olurlar. Çok yüksek hızla oluşan gaz boşalımı kaya kütlesinde bir kısım yırtılmalara neden olur ve beraberinde kaya parçalarını da hareketlendirir. Böylece savrulmuş kaya parçaları çevrede tehlike yaratırlar.

Taş savrulmasını denetleyebilmek için şu önlemler alınır;

- Şehir içi patlatmalarda atım grubunun üzerinde mutlak suretle uygun nitelikte çelik ve/veya kauçuk hasır örtüler (mat), kum torbalarıyla destekli olarak kullanılmalıdır.
- Patlayıcı madde uygun çap ve boyutta delikler kullanılarak kaya yapısı içinde olabildiğince homojen dağıtılmalıdır.
- Patlatma delikleri kullanıldığında uygun delik geometrisi hesaplanarak bulunur, böylelikle deliklere uygun yükler verilmiş olur.
- En az delik-ayna yük mesafesi boyutunda sıkılama boyu bırakılır ve uygun bir malzeme kullanılarak ağız sıkılması yapılır
- Gecikmeli kapsüller kullanılır.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

En yakın risk unsuru olarak görülen çevre yapılarına zarar vermemek için çeşitli mesafelerde kullanılacak gecikme başına en fazla şarj miktarları belirlenmelidir.

Patlatma geometrisi tasarımlarının mini basamak uygulaması şeklinde mesafenin fonksiyonu olarak değişken olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Bunun anlamı risk noktalarına uzak mesafelerde nispeten daha büyük basamak yükseklikleri ile çalışılabilecekken çevre yapılarına yaklaşırken tedricen azalan yüksekliklere geçilmesi gerekecektir.

Risk analizi yapılarak elde edilen değişik mesafelerde gecikme başına kullanılmalı gereken en yüksek patlayıcı madde miktarları dikkate alınmalı, farklı bölgeler

için farklı tasarımların kullanılması gerekliliği göz ardı edilmemelidir.

Atımlarda her deliğin ayrı ayrı patlatılmasına, dolayısıyla da gecikme başına düşen şarjın en azda tutulmasına özen gösterilmelidir. Ayrıca, yerleşim birimleri yakınında yapılacak patlatmalarda elektronik kapsül kullanılmalıdır.

Kaya fırlamasını önlemek, etkin parçalanmayı sağlamak amacıyla eğik delik uygulaması düşünülmüş olsa da mutlak suretle uygun nitelikte çelik ve/veya kauçuk hasır örtüler (mat), kum torbalarıyla destekli olarak kullanılmalıdır.

Çevresel etkilerin kontrolü açısından, uygulama sırasında atımlarda mutlaka yeterli nitelik ve nicelikte titreşim ölçerler kullanılarak titreşim ve hava şoku ölçümleri yapılmalıdır.

Atımlara ilişkin patern ve protokoller usulüne uygun olarak tutulmalı ve arşivlenmelidir.

Ateşleme gecikmeli kapsüllerle (elektrikli veya tercihen elektriksiz şok tüpleri) yapılmalıdır.

Deneme atımlarından sonra kaya davranışları ve çevresel etkiler dikkate alınarak gerekli düzeltme ve yenilemelerin yapılması gereklidir.

Çalışma öncesinde çevre binalarda yerinde tespit yapılmalı, hasarlı yapılar belirlenmeli, titreşim sebebiyle oluşabilecek minör hasarlar için hane içlerinde önlem alınmalıdır. Çevre yapıların iç ve dış fotoğrafları alınarak mevcut durumu kayıt altında tutulmalıdır.

Gerek deneme atımlarında gerekse genel uygulama sürecinde usulüne uygun atım patern ve protokolleri hazırlanarak günlük atımlar titreşim kayıtlarıyla birlikte arşivlenmelidir. Nitelikli personel ile emniyet kurallarına uygun çalışma sağlanmalıdır.

Konunun psikolojik boyutu dikkate alınarak (özellikle ilk aşamada yapılacak deneme atımlarında) geliştirilecek uygun bir

halkla ilişkiler programı kapsamında, atım yapılacak noktalardaki yerel halk bilgilendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Bilgin H. A., 1999. Patlatma Kaynaklı Çevre Sorunları, Barutsan Dergisi, S. 38-40
- Bilgin, H.A., 2005, Açık Ocak Ve Taşocaklarında Patlatma, Bölüm 5. "Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı (744 Sayfa)", 1, S.231-314.
- Dowding, C.H., Blast Vibration Monitoring And Control, Prentice-Hall, Usa., (1985).
- Faramarzi, F., Ebrahimi Farsangi, M.A., Mansouri, H., 2014. Simultaneous Investigation Of Blast Induced Ground Vibration And Airblast Effects On Safety Level Of Structures And Human In Surface Blasting. International Journal Of Mining Science And Technology.
- Ghosh, A., Daemen, J.J.K., 1983. A Simple New Blast Vibration Predictor Based On Wave Propagation Laws., 24. U.S. Symp. On Rock Mechanics, June, 151-161.
- Gupta, R.N., Roy, P.P., Singh, B., 1988. On A Blast Induced Blast Vibration Predictor For Efficient Blasting, Safety In Mines Research Proceedings Of The 22nd International Conference Of Safety In Mines Research Institutes, Editor: Dai Guoquan.
- Hüdaveri T. Ve Kuzu, C., 2005, Madencilik Faaliyetlerinde Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkilerin Ölçülmesi Ve Analizi, Madencilik Ve Çevre Sempozyumu, 5-6 Mayıs 2005, Ankara
- Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., Carcedo, F.J.A., Translated By Ramiro, Y.V., "Drilling And Blasting Of Rocks", A.A., Balkema Publishers, Brookfield, Isbn: 90 5410 1977, Rotterdam Pp 390, (1995)
- Kalaycı, Ü., Patlatmada Harcanan Faydalı Enerji İle Patlatma Verimi Arasındaki İlişkinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
- Karadoğan, A., Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması (Doktora Tezi) İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi (2008).
- Kahndelwal, M., Shing, T.N., 2006. Prediction Of Blast Induced Ground Vibrations And Frequency In Opencast Mine: A Neural Network Approach, J Sound Vib 289: 711-25.

- Kuzu, C., 2011, Taşocağı İşletmeciliğinde Patlama Kaynaklı Çevresel Etkiler, Madencilik Türkiye Dergisi, 1 Mart 2011.
- Lundborg, N., Persson, A., Ladegaard-Pedersen, A., and Holmberg, R., 1975, Keeping the lid on flyrock in open pit blasting, Engineering and Mining Journal, May, pp. 95-100.
- Nicholls, H.R., Johnson, C.F., Duvall, W.L., 1971. Blasting Vibrations And Their Effects On Structure, United States Department Of Interior, Usbm, Bulletin 656.
- Olofsson, S., Blaster's Manual, Saudi Chemical Co., 267 Sayfa, (2002).
- Özer, Ü., Karadoğan, A., Kalaycı, Ü., Özyurt, M.C., "İstanbul İli Maltepe İlçesi 2588 Ada 25-27-29-31-33 Parseller, 2543 Ada 10-18-36-37-39 Parseller ve 496 Ada 3 Parselde Gerçekleştirilecek Proje İşi Kapsamında Risk Analizine Dayalı Patlatmalı Temel Kazısı Ön Tasarımı", Döner Sermaye Projesi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul, Şubat, 2014.
- Özer, Ü., Karadoğan, A., Özyurt, M.C., "İstanbul İli Maltepe İlçesi Küçükalyalı Senti Aydınevler Mahallesi, Siteler Yolu No:1 Adresinde G22-A-03-D-3-C Pafta 2575 Ada 9 Parselde Gerçekleştirilecek Küçükalyalı Alışveriş Merkezi Ve Otel Projesi İşi Kapsamında Risk Analizine Dayalı Patlatmalı Kazı Ön Tasarımı", Döner Sermaye Projesi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul, Mart, 2015.
- Özer, Ü., Karadoğan, A., Özyurt, M.C., "İstanbul İli Pendik İlçesi Kurtköy Mevkii 3994 Ada 240eg4ad Pafta Ve 8 Parselde Bulunan Taşınmazla İlgili Hafriyat İşi Kapsamında Risk Analizine Dayalı Patlatmalı Kazı Ön Tasarımı", Döner Sermaye Projesi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul, 2014.
- Özer, Ü., Karadoğan, A., Özyurt, M.C., "İstanbul İli, Kartal İlçesi, Soğanlık Mahallesi Dahilindeki Yeni D100 Kuzey Yanyol 42/2 G22a09c34 Pafta, 10070 Ada, 572 Parselde Gerçekleştirilecek Proje İşi Kapsamında Risk Analizine Dayalı Patlatmalı Kazı Ön Tasarımı", 2015.
- Özer, Ü., Karadoğan, A., Kalaycı, Ü., "İr.68966 Sayılı Ruhsat Sahasında Yapılacak Patlatmalı Kazı Faaliyetlerinin Çevresel Risk Analizi Değerlendirmesi Ve Patlatma Ön Tasarımı", Döner Sermaye Projesi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul, 2011
- Özer, Ü., Karadoğan, A., Kalaycı, Ü., "Kavacık-Paşabahçe-Beykoz Atıksu Tüneli Ve Bağlantıları İnşaatı Kazısında Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Ve Hava Şoku Ölçümü Ve Değerlendirmesi", Döner Sermaye Projesi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul, 2011.
- "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği", T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Resmi Gazete: 04.06.2010 – 27601.
- Siskind D.E., Stagg M.S., Kopp J.W. ve Dowding C.H., 1989, Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine Blasting, Report of Investigations 8507, United States Department of the Interior, Bureau of Mines, 1989.
- Yurtaş, M., Özkul, O., Bayındır, O., Atlıhan, U., 2015, Kartal Meeting Point Projesinde Uygulanan Patlatmalı Temel Kazısında Elektronik Kapsül Kullanımının Hava Şoku, Sarsıntı Ve Verimlilik Açısından İncelenmesi, VIII. Delme-Patlatma Sempozyumu.

Basamak Patlatmasında Kullanılmak Üzere Geliştirilen Bir Android Uygulaması

An Android Application Developed to be used in Bench Blasting

A. Sakcalı, H. Yavuz, H. Cevizci

Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isparta

ÖZET Kırmataş ocak madenciliğinin önemli bir bölümü delme-patlatma uygulamasıdır. Delme-patlatma gerçekleştirilmesindeki ana amaç kontrollü olarak kaya kütlelerini ana kütlelerden ayırmaktır. Günümüzde delme-patlatma farklı alanlarda yer bulmasının yanında taş ocaklarında da halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Taş ocaklarında karşılaşılan en büyük problemlerden birisi patlatma uygulayıcısının var olan tasarımların dışına çıkmayarak farklı basamaklar için bile rastgele patlatma gerçekleştirmesidir. Bunun sonucunda da verimsiz bir patlatma ve patlatmanın zararlı çevresel etkileri ortaya çıkmaktadır. Bunun için patlatma tasarımının iyi bir şekilde yapılması çok önemlidir.

Teknolojinin gelişimine paralel olarak gelişen akıllı telefonlar hayatımızın önemli bir noktası haline gelmiştir. Telefonlarda kullanılmak üzere farklı uygulamaların geliştirilmesi ise insanoğluna birçok açıdan kolaylıklar sağlamıştır. Benzer uygulamaların madencilik uygulamalarında da kullanılmak üzere geliştirilmesi var olan iş yükünün azalmasına neden olacaktır. Bu çalışmada; basamak patlatmasının tasarımının gerçekleştirilmesinde uygulayıcıya kolaylık sağlaması için bir Android uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama sayesinde, hayatımızın bir parçası haline gelen telefonlarımızdan birkaç veri girerek basamak patlatması tasarımı yapılabilecektir. Geliştirilen bu uygulamanın doğruluğu farklı patlatma örnekleri için denemiştir ve bu çalışmada bir patlatma tasarımı uygulaması ile anlatılmıştır.

ABSTRACT A significant part of quarrying is the drilling-blasting applications. The main purpose of the drilling-blasting is the controlled disintegration of rock mass. Today, drilling-blasting is still widely used in quarries besides finding places in different areas. One of the biggest problems encountered in the quarries is that blasting practitioners perform random blasting even for different benches by not leaving out the existing design. As a result of that, different environmental effects of blasting are emerging. Therefore, it is important to design blasting parameters correctly.

The developing smart phones parallel with the development of technology have become an important point of our lives. The development of different applications to be used on the phone is provided convenience in many aspects of humans. The development of similar applications for use in mining applications will cause a decrease in the existing workload. In this study, an Android application is developed for practitioner convenience in the realization of the design of bench blasting. Using this software, bench blasting design can be performed by entering several data on mobile phones which have become a part of our lives. Accuracy of this developed software tested for different blasting examples and in this study, it is described with a blasting design application.

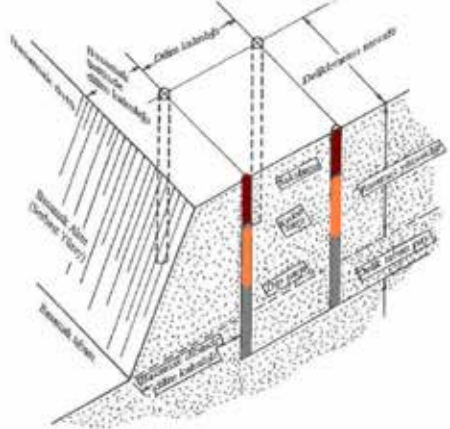
1 GİRİŞ

Maden ve taşocağı faaliyetlerinin en önemli aşamasını oluşturan kazı işlerinin mekanize veya diğer yöntemlerle gerçekleştirilmesinin, kayaçların fiziko-mekanik özellikleri ve kullanılmakta olan teknoloji ile sınırlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle bu sınırı aşan delme ve patlatma teknolojisi doğrudan kazı veya gevşetme kazısı olarak büyük önem arz etmektedir (Kahrıman, 2003). Delme-patlatmanın temel amacı cevherden faydalanılacak boyutta malzemeyi en ekonomik şekilde elde etmektir. Günümüzde, açık işletme maliyetinin yaklaşık %15-20'sini delme-patlatma işlemlerinin maliyeti oluşturmaktadır (Duran ve Gül, 2011). Delme-patlatma tasarımının iyi yapılarak patlatma sonucunda elde edilecek malzemenin tane boyutlarının iyi ayarlanması; malzemenin yükleme, taşıma, hazırlama aşamalarında büyük kolaylık sağlayacaktır.

Delme-patlatma ile kazı yönteminin ilk aşaması delici makinenin seçilmesidir. Delici makine seçimi ve dolayısıyla delik çapı tercihi patlatma tasarımının en önemli parametresidir. Delme-patlatma ile üretim yönteminde delik ne kadar çok ve çapları ne kadar küçük olursa patlayıcının enerjisi kaya içerisinde o kadar homojen dağılır ve kayanın parçalanması daha iyi olur (Akkoyun, 2010). Buna rağmen delik çapı küçük olduğu zaman delik sayısı artacağı için iş ve işçi maliyetinin artması söz konusu olacaktır. Bu nedenle elde var olan delici makinelerde göz önünde bulundurularak kullanılacak en iyi delici makine seçimi gerçekleştirilmelidir.

Delme-patlatma tasarım parametrelerinin belirlenmesi için literatürde önerilen birçok yaklaşım bulunmaktadır (Pearse, 1955; Ash, 1968; Gustafsson, 1973; Hagan, 1974; Langefors ve Kihlström, 1978; Hemphill, 1981; Hoek ve Bray, 1981; Olofson, 1982; Dick ve ark., 1983; Demirci, 1984; Tamrock, 1984; Bilgin ve Paşamehmetoğlu, 1986; Atlas Powder Co., 1987; Nitro Nobel, 1987; Arıoğlu, 1990; Konya ve Walter, 1990; Kou ve Rustan, 1992). Önerilen bu yaklaşımlar kullanılarak basamak patlatması tasarımı gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 1.1'de

basamak patlatmasında tasarım parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Basamak patlatmalarında tasarım parametreleri (Bilgin, 1986)

Bu hesaplamalar zaman alıcı hesaplamalardır. Daha hızlı hareket etmek ve pratikte daha kolay uygulamak amacıyla farklı yazılımlar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yazılımlar daha çok bilgisayar kullanımının olduğu ortamlarda kullanılabilir yazılımlardır. Literatürde gelişen teknoloji ile birlikte günlük hayatımıza girmiş olan telefonlarda kullanılmak üzere geliştirilen bir yazılımla karşılaşmamıştır.

Günümüzde Android uygulamalar çoğu telefon modellerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ve benzeri uygulamalar hayatın her aşamasında kolaylıklar sağlamaktadır. Bu çalışmada, sahada pratik olarak hızlı cevap verebilecek delme-patlatma tasarımı yapan bir Android uygulamaya geliştirilerek uygulamacıya kolaylık sağlanması hedeflenmiştir.

2 BASAMAK PATLATMASI TASARIMI

Delme-patlatma tasarımı, patlatma sonucu analizi, patlatmadan kaynaklanan çevresel sorunların analizi için geliştirilmiş ticari niteliği olan birçok yazılım vardır (Çeliksirt ve Erkan, 2015). Dağçimen (2006) bu yazılımları 4 ana başlık altında toplamıştır.

WipFrag (Wipware, 2016), DelPat (Delpat, 2016), BlaspA (BlaspA, 2016) basamak patlatması için delme-patlatma

tasarımı yapan yazılımlara; AEL Tunnel 2000 (Anonn, 2000), AEL Ring 2000 (Anonn, 2000) tünel patlatmaları için yazılımlara; Rockmate (Rockmate, 2016), Vibration Consultant (Vibr Cons., 2016), patlatma kaynaklı çevresel sorunların analizi için kullanılan yazılımlara; WipFrag (Wipware, 2016), WipJoint (Wipware, 2016), Split Online veya Split Desktop (Split Eng., 2016), DelPat (Delpat, 2016), Blast Maker (Blast Maker, 2016), Blaspa (Blaspa, 2016) ise parça boyut dağılım analizi için kullanılan bazı yazılımlara örneklerdir.

Bu ve benzeri yazılımların temel amacı üretim sürecinde uygulamacıları birçok hesaplamalardan uzaklaştırarak onlara pratik sağlamaktır. Ayrıca, uygulamacılara farklı seçenekler sunarak karşılaştırabilmelerine de olanak sağlamaktır.

2.1 Basamak Patlatması Parametrelerinin Belirlenmesinde Önerilen Eşitlikler

Patlatma geometrisi tasarımı ile ilgili araştırmalar dilim kalınlığının diğer tüm tasarım parametrelerden daha etkin olduğunu vurgulamışlardır (Dağçimen, 2006). Araştırmacılar tarafından delikler arası mesafe, sıkılama boyu, delik taban payı, gecikme aralığı, dip şarj boyu, kolon şarj boyu gibi diğer tasarım parametreleri dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilmektedir.

Bazı araştırmacıların dilim kalınlığını basamak ve delik geometrisine bağlı bir fonksiyon olarak belirtmelerinin yanında, kaya kütlesi ve patlayıcı madde özellikleri ile de ilişkilendiren araştırmacılar olmuştur. Dilim kalınlığı ile ilgili önerilen eşitlikler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1’deki eşitliklere bakıldığında dilim kalınlığını delik çapının fonksiyonu olarak ifade eden eşitliklerin pratikte kolaylık sağladığı ve tümünün birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir (Dağçimen, 2006).

Delik çapı patlatma tasarımındaki en önemli parametrelerden biridir. Birçok ocakta makine parkındaki delici makineden dolayı delik çapı seçimi sınırlı olsa da yeni açılacak ocaklarda alınacak delici makinenin iyi seçilmesi gerekmektedir.

Çizelge 2.1. Dilim kalınlığı ile ilgili önerilen eşitlikler

Kaynaklar	Eşitlikler
Pearse, 1955	$B = 10^{-3} \times K_r \times d \times (P_p / \sigma_c)^{0.5}$ (2.1)
Gustafsson, 1973	$B_{max} = 0,045 \times d$ (2.2)
Hagan, 1974	$B = 20 \dots 35 \times d$ (2.3)
Langefors ve Kihlström, 1978	$B_{max} = (d / 33) \times (P \times sl) / [C_o \times f \times (S / B)]^{0.5}$ (2.4)
Langefors ve Kihlström, 1978; Olofsson, 1982	$B = B_{max} - E$ (2.5)
Olofsson, 1982	$B_{max} = 1,47 \times (I_b)^{0.5} \times R_1 \times R_2$ (Dynamex M için) (2.6)
	$B_{max} = 1,45 \times (I_b)^{0.5} \times R_1 \times R_2$ (Emulite 150 için) (2.7)
	$B_{max} = 1,36 \times (I_b)^{0.5} \times R_1 \times R_2$ (ANFO için) (2.8)
Tamrock, 1984	$B = 25 \dots 40 \times d$ (2.9)
Atlas Powder Co., 1987	$B = (25 \dots 35) - 12 \times d_e$ (2.10)
Nitro Nobel, 1987	$B_{max} = 45 \times d / 1000$ (2.11)
Arıoğlu, 1990	$B = 0,024 \times d + 0,85$ (2.12)
Konya ve Walter, 1990	$B \text{ (feet)} = 3,15 \times d_e \times (SG_e / SG_r)^{0.33}$ (2.13)
Kou ve Rustan, 1992	$B = [K_o / (\mu \times \eta \times \tan(\theta/2))]^{0.5} \times d \times [SG_e \times Q_e / Q_{er}] / (\sigma_b^2 / (2 \times E_d \times \eta \times Q_{er}))^{0.5}$ (2.14)

B: dilim kalınlığı (m); K_r : kaya faktörü; d: delik çapı (mm); P_p : delikteki patlama basıncı (MPa); σ_c : kayanın çekme dayanımı (MPa); B_{max} : maksimum dilim kalınlığı; P: patlayıcı maddenin delik içindeki yoğunluğu (kg/dm³); sl: patlayıcı maddenin ağırlıkça kudreti; C_o : kaya patlatma katsayısı; f: atım güçlük katsayısı; S: delikler arası mesafe (m); E: delik hata payı (m); I_b : şarj yoğunluğu (kg/m); R_1 : delik eğimi düzeltme faktörü; R_2 : kaya düzeltme faktörü; d_e : delik çapı (inç); SG_e : patlayıcı maddenin özgül ağırlığı; SG_r : kayanın özgül ağırlığı; K_o : ilk basamak yüksekliği (m); μ : kırılma enerjisi ile maksimum basınç deformasyon enerjisi arasındaki oran; η : enerji iletim verimi; θ : kırılma açısı (°); Q_e : patlayıcı ısı enerjisi (kJ/kg); Q_{er} : referans patlayıcısının ısı enerjisi (kJ/kg); σ_b : kayanın tek eksenli basınç dayanımı (MPa); E_d : dinamik elastik modülü (GPa).

Araştırmacılar delik çapının ağırlıklı olarak basamak yüksekliğinin bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle delici makine çapının seçimi yapılırken farklı basamak yükseklikler için değerlendirme yapılmalıdır. Eğer elde makine var ise de makine parkında bulunan delici makine çapına göre basamak yüksekliği belirlenerek delme-patlatma yapılmalıdır. Bu işlem makine alımı için ayrı bir maliyet

oluşturmadığı için ekonomik olarak katkı da sağlayacaktır.

Basamak patlatmasında patlatma performansını etkileyen önemli parametrelerden birisi de delikler arası mesafedir. Delikler arası mesafe deliğin kendine yakın noktadaki delikler ile olan uzaklığıdır. Araştırmacılar delikler arası mesafenin farklı parametrelere bağlı olduğunu vurgulamalarına rağmen genel kanının dilim kalınlığına bağlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Delikler arası mesafe ile ilgili önerilen eşitlikler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Delikler arası mesafe ile ilgili önerilen eşitlikler

Kaynaklar	Eşitlikler
Hagan, 1974	$S = 40 \times d$ (2.15)
Langefors ve Kihlström, 1978	$S = (1,15 \dots 1,25) \times B$ (2.16)
Hemphill, 1981	$S = 1,8 \times B$ (tek sıra için) (2.17) $S = [B \times (h_b + h_p)]^{0,5}$ (çok sıralı ve gecikmesiz ($h_b + h_p \leq 4$ için) (2.18) $S = 2 \times B$ ($h_b + h_p \geq 4$) (2.19)
Dick ve ark., 1983	$S = 2 \times B$ (2.20)
Demirci, 1984	$S = 0,97 \times B + 0,25$ (2.21)
Olofsson, 1982	$S = 1,25 \times B$ (2.22)
Atlas Powder Co., 1987	$S = (1 \dots 1,8) \times B$ (2.23)
Arıoğlu, 1990	$S = 1,3 \dots 1,4 \times d$ (2.24)
Konya ve Walter, 1990	$S = (B \times H)^{0,5}$ (2.25)

S: delikler arası mesafe (m); d: delik çapı (mm); B: dilim kalınlığı (m); h_b : Dip şarj boyu (m); h_p : kolon şarj boyu (m); H: basamak yüksekliği (m).

Delme-patlatma tasarımı yaparken bir diğer önemli parametre de delik taban payıdır. Basamak tabanında düzgün bir yüzey elde etmek ve parçalanmayan kaya olması durumunda ek iş yükü oluşturmamak için delik taban payının iyi belirlenmesi gereklidir. Aksi takdirde basamak düzgün olarak patlatılamayacak ve kırılmayan kaya parçaları için ayrı bir işçilik ve zaman gerekecektir. Bu nedenle patlatmanın gerçekleştirilmesinde delik taban payı önemli oranda etkilidir. Araştırmacıların çoğuna göre delik taban payı dilim kalınlığına bağlı bir parametredir. Araştırmacılar tarafından önerilen delik taban payı ile ilgili eşitlikler Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Delik taban payı ile ilgili önerilen eşitlikler

Kaynaklar	Eşitlikler
Gustafsson, 1973; Langefors ve Kihlström, 1978; Olofsson, 1982	$U = 0,3 \times B_{max}$ (2.26)
Hoek ve Bray, 1981	$U = (0,2 \dots 0,3) \times B$ (2.27)
Dick ve ark., 1983	$U = 0,1 \dots 0,5 \times B$ (2.28)
Tamrock, 1984; Konya ve Walter, 1990	$U = 0,3 \times B$ (2.29)
Bilgin ve Paşamehmet oğlu 1986	$U = 8 \times d$ (2.30)
Atlas Powder Co., 1987	$U = (0,2 \dots 0,5) \times B$ (2.31)

U: delik taban payı; B_{max} : Maksimum dilim kalınlığı (m); B: dilim kalınlığı (m); d: delik çapı (m).

Basamak yüksekliği ile delik taban payının toplamı delik boyunu verirken delikler delinirken delik boyunda sapmalar meydana gelmektedir. Bazı araştırmacılar bu hatayı gidermek için delik hata payının göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamışlardır. Çizelge 2.4’te delik hata payı ile ilgili önerilen eşitlikler verilmiştir.

Çizelge 2.4. Delik hata payı ile ilgili önerilen eşitlikler

Kaynaklar	Eşitlikler
Gustafsson, 1973; Langefors ve Kihlström, 1978	$E = 0,05 + 0,03 \times K$ (2.32)
Olofsson, 1982	$E = (d / 1000) + 0,03 \times H$ (2.33)
Tamrock, 1984	$E = 0,05 + 0,03 \times H$ (2.34)

E: delik hata payı (m); K: basamak yüksekliği (m); d: delik çapı (mm); H: delik boyu (m).

Delme-patlatmanın ana amacı enerjiyi kayayı kırmada harcamasını sağlamak olduğu için patlatma sonucu enerjinin kırmada kullanılmadığı ve patlatma ile kırılacak kaya kütlesi dışına kaçtığı durumlarda söz konusu olabilmektedir. Enerjinin dışarı kaçması hava şoku ve taş fırlaması gibi çevresel etkilere neden olmaktadır. Bu çevresel problemleri

önlemenin en iyi yolu da sıkılamanın iyi yapılmasıdır. En yaygın sıkılama malzemesinin ise delikten çıkan malzeme olduğunu araştırmacılar tarafından vurgulanmaktadır. Araştırmacılar sıkılama boyunun dilim kalınlığının bir fonksiyonu olduğunu belirtmişler ve Çizelge 2.5'te verilen eşitlikleri önermişlerdir.

Çizelge 2.5. Sıkılama boyu ile ilgili önerilen eşitlikler

Kaynaklar	Eşitlikler
Gustafsson, 1973; Langefors ve Kihlström, 1978; Olofsson, 1982	$h_o = B$ (2.35)
Bilgin ve Paşamehmet oğlu 1986	$h_o = 20...60 \times d$ (2.36)
Tamrock, 1984	$h_o = 0,7...1 \times B$ (2.37)
Hoek ve Bray, 1981	$h_o = 0,67...2 \times B$ (2.38)
Konya ve Walter, 1990	h_o (feet) = $0.7 \times d_f$ (Pratik yaklaşım) (2.39)
Konya ve Walter, 1990	h_o (feet) = $0,45 \times d_e \times (S_{tv} / SG_f)^{0,33}$ (2.40)

h_o : sıkılama boyu (m); B: dilim kalınlığı (m); d: delik çapı (m); d_f : delik çapı (feet); d_e : delik çapı (inc); S_{tv} : patlayıcı maddenin hacimce kudreti; SG_f : kayanın özgül ağırlığı.

Delige şarj edilen patlayıcı madde kolonunun zamanında ve güvenilir bir şekilde ateşlenmesinde, yem sayısı ve konumu önem taşımaktadır. Şarj kolonundaki yemlemenin gereğinden uzun yapılması detonasyonun sönümlenmesine neden olduğu için gerekli enerjinin kullanılmamasına neden olmaktadır. Ayrıca, iyi bir ateşleme için yemleme çapının yaklaşık olarak şarj çapına eşit olması ve yemleme uzunluğunun şarj çapının 2 ila 4 katı arasında bulunması bazı araştırmacılarca önerilmektedir (Dağçimen, 2006).

Patlatma sırasında delik tabanında daha fazla enerjiye ihtiyaç vardır. Bu nedenle dip şarj ve kolon şarj boyunun ve miktarlarının iyi belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde araştırmacılar dip ve kolon şarj boylarının dilim kalınlığına bağlı birer fonksiyon olduğunu belirtmişlerdir. Çizelge 2.6'da dip-kolon şarj uzunluğu ve miktarları ile ilgili önerilen eşitlikler verilmiştir.

Çizelge 2.6. Dip-kolon şarj uzunluğu-miktarı ile ilgili önerilen eşitlikler

Kaynaklar	Eşitlikler
Langefors ve Kihlström, 1978; Tamrock, 1984	$h_b = B + U = 1,3 \times B$ (2.41)
Dick ve ark., 1983	$h_b = (0,3...0,6) \times (B + U)$ (2.42)
Atlas Powder Co., 1987	$h_b = (0,3...0,5) \times B + U$ (2.43)
Gustafsson, 1973	$l_b = d^{2,7/1000}$ (2.44)
Langefors ve Kihlström, 1978	$l_b = (f / S) \times (S/B) \times 0,8 \times C_o \times B^2$ (2.45)
Olofsson, 1982	$l_b = 7,85 \times d^2 \times p \times 10^{-4}$ (2.46)
Tamrock, 1984	$l_b = C_o \times B^2$ (2.47)
Langefors ve Kihlström, 1978; Olofsson, 1982; Tamrock, 1984;	$h_p = H - 2,3 \times B$ (2.48)
Atlas Powder Co., 1987	$h_p = H - h_b - h_o$ (2.49)
Tamrock, 1984	$l_p = 0,4 \times l_b$ (2.50)
Gustafsson, 1973; Langefors ve Kihlström, 1978	$l_p = (0,4...0,5) \times l_b$ (2.51)

h_b : dip şarj uzunluğu (m); B: dilim kalınlığı (m); U: delik taban payı; l_b : dip şarj konsantrasyonu (kg/m); d: delik çapı (mm); f: atım güçlük katsayısı; S: delikler arası mesafe (m); C_o : kaya patlatma katsayısı; p: patlayıcı madde yoğ. (kg/dm³); h_p : kolon şarj uzunluğu (m); H: delik boyu (m); h_o : sıkılama boyu (m); l_p : kolon şarj konsantrasyonu (kg/m).

Kolon (Q_p) (kg) ve dip (Q_b) (kg) şarj miktarı sırasıyla Eşitlik 2.52, Eşitlik 2.53 kullanılarak bulunur.

$$Q_p = l_p \times h_p \quad (2.52)$$

$$Q_b = l_b \times h_b \quad (2.53)$$

2.2 Uygulamada Kullanılan Eşitlikler

Basamak patlatması parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan birçok eşitlik vardır. Uygulama diğer araştırmacıların önerdiği eşitlikler için seçenek sunmasına rağmen bu menüde seçim yapmak istemeyenler için Olofsson (1982)'un

önerilerine göre basamak patlatma tasarımı gerçekleştirmektedir. Bu öneriye göre sırası ile aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır.

$$I_b = 7,85 \times d^2 \times p \quad (2.46)$$

$$B_{\max} = 1,47 \times (I_b)^{0.5} \times R_1 \times R_2 \quad (\text{Dyn.M için}) \quad (2.6)$$

$$B_{\max} = 1,45 \times (I_b)^{0.5} \times R_1 \times R_2 \quad (\text{Emul. için}) \quad (2.7)$$

$$B_{\max} = 1,36 \times (I_b)^{0.5} \times R_1 \times R_2 \quad (\text{ANFO için}) \quad (2.8)$$

$$U = 0,3 \times B_{\max} \quad (2.26)$$

$$H = K + U \quad (2.54)$$

$$E = (d / 1000) + 0.03 \times H \quad (2.33)$$

$$B = B_{\max} - E \quad (2.5)$$

$$S = 1,25 \times B \quad (2.22)$$

$$A = L / S \quad (2.55)$$

$$S_a = L / A \quad (2.56)$$

$$n = A + 1 \quad (2.57)$$

$$h_o = B \quad (2.35)$$

$$h = h_b + h_p = H - h_o \quad (2.58)$$

$$Q_t = Q_b + Q_p = h \times I_b \quad (2.59)$$

$$b = (n \times H) / (B \times K \times L) \quad (2.60)$$

$$q = (n \times Q_t) / (B \times K \times L) \quad (2.61)$$

Burada; I_b : dip şarj konsantrasyonu (kg/m), d : delik çapı (m); p : patlayıcı madde yoğunluğu (kg/dm³); R_1 : delik eğimi düzeltme faktörü; R_2 : kaya düzeltme faktörü; U : delik taban payı; B_{\max} : Maksimum dilim kalınlığı (m); H : delik boyu; K : basamak yüksekliği; E : delik hata payı; B : pratik dilim kalınlığı (m); A : aralık sayısı; S_a : Ayarlanmış delikler arası mesafe; n : bir sıradaki delik sayısı; h_o : sıkılama boyu (m); h : şarj boyu; h_b : dip şarj uzunluğu (m); h_p : kolon şarj uzunluğu (m); Q_t : toplam delik şarjı; Q_b : kolon şarj (kg); Q_p : dip şarj (kg); b : özgül delme (m/m³); L : basamak uzunluğu (m)'dir.

B_{\max} hesabı için Olofsson (1982) tarafından delik eğimi ve kaya düzeltme faktörleri önerilmiştir. Delik eğim faktörünün pratik olarak kullanılabilmesi için eğim açısı derece olarak çevrilmiştir. Olofsson (1982) tarafından önerilen ve uygulamada da kullanılan delik eğimi düzeltme faktörü (R_1) ve kaya düzeltme faktörü (R_2) sırasıyla Çizelge 2.7, Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Delik eğimi düzeltme faktörü (R_1) (Olofsson, 1982)

Eğim	Eğim (°)	R_1
Düşey	90	0,95
10 / 1	84,29 ≈ 85	0,96
5 / 1	78,59 ≈ 79	0,98
3 / 1	71,57 ≈ 72	1,00
2 / 1	63,43 ≈ 64	1,03
1 / 1	45	1,10

Çizelge 2.8. Kaya düzeltme faktörü (R_2) (Olofsson, 1982)

c	R_2
0,3	1,15
0,4	1,00
0,5	0,90

3 UYGULAMANIN GELİŞTİRİLMESİ

3.1 Android Yazılım

Akıllı telefonların yaygınlaşmasıyla birlikte telefonlarda kullanılmak üzere çeşitli Android uygulamalarının geliştirilmesi kaçınılmaz olmuştur.

Geçmiş Ekim 2003'e dayanan Android, Ağustos 2005'de Inc Google tarafından alınmıştır. Open Handset Alliance (OHA), 5 Kasım 2007'de Android'i kurduğunu duyurmuş ve ardından 34 adet donanım, yazılım ve telekom şirketi, mobil cihazlar için telif hakkı olmayan bir işletim sisteminin teknolojinin gelişimi için yararlı olduğu konusunda hemfikir olmuşlardır (Androidturkey, 2016).

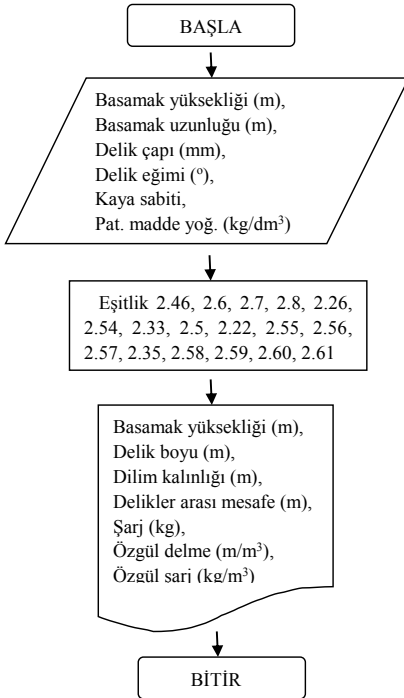
Android için uygulamalar geliştiren çok sayıda geliştirici grup bulunmaktadır. Geliştiriciler, ilk olarak aygıtı, Google'ın Java kütüphanesi aracılığıyla kontrol ederek Java dilinde yazmışlardır.

Android, Linux çekirdeği üzerine inşa edilmiş bir mobil işletim sistemidir. Bu sistem ara katman yazılımı, kütüphaneler ve API C diliyle yazılmıştır. Uygulama yazılımları ise, Apache harmony üzerine kurulu Java uyumlu kütüphaneleri içine alan uygulama iskeleti üzerinden çalışmaktadır. Android, derlenmiş Java kodunu çalıştırmak için dinamik çevirmeli (ART) Android RunTime kullanır ve cihazların

fonksiyonelliğini artıran uygulamaların geliştirilmesi için çalışan geniş bir programcı geliştirici çevresine sahiptir (Android, 2016).

Uygulamanın geliştirilmesinde kullanılan Android Studio 2.1 ücretsiz bir yazılımdır (Developerandroid, 2016). Yazılım dili Java olduğu için gerekli olan Java dili de ücretsiz olarak temin edilebilmektedir (JavaSE, 2016). Yani uygulama hazırlamak tamamen ücretsiz olup basit bir kurulum ve birkaç komut kullanımı ile benzer uygulamaların geliştirilmesi kaçınılmazdır.

Uygulama, diğer önerileride sunmasına rağmen kolaylık olması adına bu seçeneği seçmeyen uygulamacılar için Olofsson (1982) tarafından basamak patlatma tasarımı için önerilen eşitlikler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulama birkaç girdi istemekte ve zaman alan hesaplama işlemini pratik ve kolay bir şekilde sunmaktadır. Bu uygulamanın algoritması ise Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Uygulamanın algoritması

Uygulamanın ana ekranında basamak yüksekliği, basamak uzunluğu, delik çapı, delik eğimi, kaya sabiti, patlayıcı madde yoğunluğu verileri istenmektedir. Bu verilerin girilip tasarla butonuna basılmasıyla basamak patlatması için gerekli parametreler hesaplatılmaktadır. Şekil 3.2'de veri girişinin olduğu pencere verilmiştir.



Şekil 3.2. Veri girişi penceresi



Şekil 3.3. Tasarım penceresi

Tasarla butonuna basılması ile birlikte basamak patlatmasında kullanılacak tasarım parametreleri hesaplatılarak bir pencere açılacaktır. B pencerede patlatma tasarım parametreleri görüntülenecektir. Bu değerler kullanılarak patlatmanın gerçekleştirilmesi uygulayıcıya pratiklik sağlayacaktır. Tasarım penceresi Şekil 3.3'te verilmiştir.

3.2 Bir Patlatma Tasarım Örneğinin Uygulama ile Gerçekleştirilmesi

Uygulamanın doğruluğunu kontrol etmek amacıyla birçok patlatma tasarım denemesi gerçekleştirilmiştir. Tasarım denemelerin sonucunda uygulamanın doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmada örnek teşkil etmesi açısından Olofsson (1982)'un bir örneği verilmiştir. Bu örnek uygulamanın verileri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Örnek uygulama için veriler (Olofsson, 1982)

Basamak yüksekliği (m)	15
Basamak uzunluğu (m)	26
Delik çapı (mm)	76
Delik eğimi (°)	72
Kullanılacak pat. madde	Emulite
Delik durumu	Kuru
Kaya sabiti	0,4
Patlayıcı madde yoğ.	1,1

Geliştirilen uygulama ile örnek bir patlatma tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada birkaç veri girilerek tek bir buton ile basamak patlatma tasarımı kolaylıkla gerçekleştirmek mümkündür. Geliştirilen bu uygulamanın kullanılmasıyla elde edilen basamak tasarımın parametreleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Tasarım parametreleri

Tasarlanan basamak yüksekliği (m)	15
Tasarlanan delik boyu (m)	16,8
Tasarlanan dilim kalınlığı (m)	2,65
Tasarlanan delikler arası mesafe (m)	3,25
Tahmin edilen şarj miktarı (kg)	45,75
Özgül delme (m/m ³)	0,145
Özgül şarj (kg/m ³)	0,4

4 DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Kullanıcıya kolaylık sağlamak amacıyla akıllı telefonlar geliştirilmiştir. Buna paralel olarak ta birçok telefon uygulaması kendine yer bulmuştur. Telefon uygulamaları sayesinde hayatımızdaki bazı şeylerin gerçekleştirilmesi daha kolay hale gelmiştir.

Zor olan madencilik faaliyetlerinin yanında hesaplamalar için ayrı bir zaman ayırmak zor gelmektedir. Bu nedenle çeşitli bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir. Bu yazılımlar yol göstericiliğinin yanı sıra uygulayıcıya pratiklik sağlamaktadır.

Bu çalışmada patlatma tasarımının gerçekleştirilmesinde yardımcı olacak görsel bir telefon uygulaması geliştirilmiştir. Bu uygulama Android işletim sistemine sahip telefonlarda kullanılmaktadır. Madencilikte kullanılmak üzere bu ve benzeri uygulamaların geliştirilmesi uygulayıcıya kolaylıklar sağlayacaktır.

Çalışmanın değerlendirmesini ve elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- Patlatma tasarım parametreleri için literatürde var olan eşitlikler araştırılmış ve patlatma tasarımı için önerilen farklı eşitlikler geliştirilen telefon uygulaması için kullanılmıştır.
- Başlangıçta seçenek sunulurken, seçim yapılmadığı durumda uygulayıcıya pratiklik sağlaması adına Olofsson (1982) tarafından önerilen eşitlikler kullanılmıştır.
- Uygulamanın doğruluğu için birçok patlatma tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımlardan bir tanesi bu çalışmada örnek olarak verilmiştir.
- Bu ve benzeri uygulamaların geliştirilmesi madencilik faaliyetlerinde pratiklik sağlayacağı açıktır.
- Bu uygulama hesaplamalara dayalı bir uygulama olup patlatma tasarımının gerçekleştirilmesi için görsel olarak seçenek sunmaktadır. İleride yapılacak benzer uygulamalarda simülasyon gibi seçenekler sunulması değerlendirmelerin daha ayrıntılı yapılmasını sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

- Akkoyun, Ö, 2010. Basamak patlatması temel hesaplamaları için bilgisayar yazılımı, Delme patlatma sempozyumu, Ankara.
- Android, 2016. Erişim tarihi: 10.07.2016, Erişim adresi: [https://tr.wikipedia.org/wiki/Android_\(i%C5%9Fletim_sistemi\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Android_(i%C5%9Fletim_sistemi)).
- Androidturkey, 2016. Erişim tarihi: 08.07.2016, Erişim adresi: <http://www.androidturkey.net/2011/08/15/android-tarihi-infografik/>.
- Anonn, 2000. Ael ring 2000 & Ael tunnel 2000, 19 s.
- Ash, RL, 1968. The design of blasting rounds, Surface Mining, s.373-397.
- Arıoğlu, E, 1990. Açık işletmelerde patlatma tasarımında dilim kalınlığının belirlenmesine işletme ve jeomekanik büyükleri gözetin yarı analitik bir yaklaşım, 2. Ulusal kaya mekaniği sempozyumu, 5-7 Kasım, s.55-81, Ankara.
- Atlas Powder Co., 1987. Explosives and rock blasting, Atlas Powder Co., Dallas, 662 s.
- Blaspa, 2016. Erişim tarihi: 04.07.2016, Erişim adresi: <http://home.earthlink.net/~pfavreau/>.
- Blast Maker, 2016. Erişim tarihi: 04.07.2016, Erişim adresi: <http://www.blastmaker.kg/>.
- Bilgin, HA, 1986. Açık işletmelerde patlatma sorunları ve tasarımı, ODTÜ Maden Mühendisliği bölümü seminerleri, seminer no: 2, Ankara.
- Bilgin, HA, Paşamehmetoğlu AG, 1986. Kayaların patlatılabilirlikleri delinebilirlikleri üzerine bir çalışma, 1. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, s.113-125, Ankara.
- Çeliksirt, C, Erkan, V, 2015. Delme-Patlatma parametrelerinin DelPatv8 yazılımı ile tasarlanması ve uygulamadaki sonuçlarının karşılaştırılması, 8.Delme-Patlatma sempozyumu, 19-20 Kasım, İstanbul.
- Dağçimen, A, 2006. Patlatma tasarımı için geliştirilen bir bilgisayar programı, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 117 s.
- Delpat, 2016. Erişim tarihi: 04.07.2016, Erişim adresi: <http://www.delpat.com/>.
- Demirci, A, 1984. Açık işletmelerde delik geometrisinin belirlenmesi ve çatlaklı kayalara uygulanması, Etibank bült., 68.
- Developerandroid, 2016. Erişim tarihi: 10.07.2016, Erişim adresi: <https://developer.android.com/studio/index.html>.
- Dick, RA, Larry, RF, D'Andrea DV, 1983. Explosives and blasting procedures manual, Bureau of Mines, IC/8925, USA, 105 s.
- Duran, Z, Gül, Y, 2011. Sivas-Ulaş Akkaya jips açık ocağında ateşleme sistemlerinin patlatma maliyetine etkilerinin incelenmesi. 6. Ulusal kırmataş sempozyumu, 06-07 Ekim, s.141-148, Sivas.
- Gustafsson, R, 1973. Swedish blasting technique, SPI, Gothenberg, 323 s.
- Hagan, TN, 1974. Rock breakage by explosives, Aust geomec nat symp of fragmentation, s.1-17, Alaide.
- Hemphill, G, 1981. Blasting operations, Mc Graw Hill, New York, 258 s.
- Hoek, E, Bray, JW, 1981. Rock slope engineering. the institution of mining and metallurgy, Stephen Austin and Sons Ltd, 3. baskı, 358 s. London.
- JavaSE, 2016. Erişim tarihi: 10.07.2016, Erişim adresi: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/jdk8-downloads-2133151.html>.
- Kahriman, A, 2003. Maden ve taşocaklarında kaya patlatma tekniği semineri, İstanbul.
- Konya, JA, Walter; EJ, 1990. Surface blast desing, Prenticehall, New Jersey, 292 s.
- Kou, SQ, Rustan, A, 1992. Burden related to blast hole diameter in rock blasting, Int J of Rock Mech, Min Sci anf Geomechanics Abstract, 29 (6), s.543-553.
- Langefors, U, Kihlstrom, B., 1978. The modern technique of rock blasting, Halsted Press a division of John Wiley & Sons Inc., 3. Baskı, New York, 438 s.
- Nitro Nobel, 1987. Rock blasting technique, Course notes, Sweden.
- Olofsson, SO, 1982. Applied explosives technology for construction and mining, Applex, Sweden, 304 s.
- Pearse, GE, 1955. Rock blasting – Some aspects on the theory and practice, Mine and quarry engineering , s.25-30, New York.
- Rockmate, 2016. Erişim tarihi: 04.07.2016, Erişim adresi: <http://www.rockmate.com/>.
- Split Eng., 2016. Erişim tarihi: 04.07.2016, Erişim adresi: <http://www.spliteng.com/>.
- Tamrock, S, 1984. Handbook on surface drilling and blasting, Painofactrit, 310 s.
- Vibr Cons., 2016. Erişim tarihi: 04.07.2016, Erişim adresi: <http://www.vibrationconsultants.co.nz/>.
- Wipware, 2016. Erişim tarihi: 04.07.2016, Erişim adresi: <http://www.wipware.com/>.

Development of a New Laboratory Technique for Reducing the Peak Particle Velocity Arising from the Blast

Patlatmadan Kaynaklanan En Yüksek Parçacık Hızının Azaltılmasını Sağlayan Yeni Bir Laboratuvar Tekniğinin Geliştirilmesi

A. Tosun

Dokuz Eylül University, Engineering Faculty, Department of Mining Engineering and Bergama Vocational School Izmir/Turkey

ABSTRACT Certain vibrational waves are formed as a result of open quarry blasts. The peak particle velocity occurred by these waves provides that structures and people present around the blast point are negatively affected. Thus it is very important that the peak particle velocity is minimum value. In this study, a new laboratory blast technique has been presented for reducing the peak particle velocity formed by vibrational waves occurring as a result of the blast. Two different experiments were carried out in the laboratory. In the first experiment, three the peak particle velocities were measured normally. But, in the second experiment, the peak particle velocity value was measured by using the laboratory technique proposed. After that two experiments are compared eachother. As a result of the study, it is realized that the proposed technique has considerably reduced the peak particle velocity values.

Keywords: Vibrational waves, peak particle velocity, blast

1 INTRODUCTION

A large part of the production in the open quarries is provided by the blast operations. As a result of the blast operations, vibrational waves are formed and are called as body and surface waves in general. Body waves are divided into two groups as P-waves (primary) and S-waves (secondary). P-waves move in the direction of progression of the vibration (in direction of pressure and tension waves) while S-waves move perpendicularly to the direction of progression of the vibration (Figure 1).

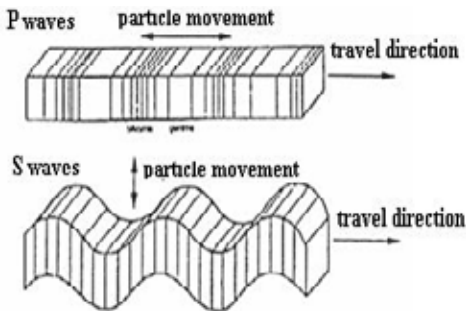


Figure 1. Directions of P and S waves (Bullen and Bolt Bruce, 1985)

Surface waves occur after the body waves and move in close to the surface. They can be divided into two groups as Love and Rayleigh waves. Love (L) waves progress along the line while Rayleigh waves progress in the vertical axis and with reverse return (Siskind et al., 1989). The progression types of these waves are given in Figure 2.

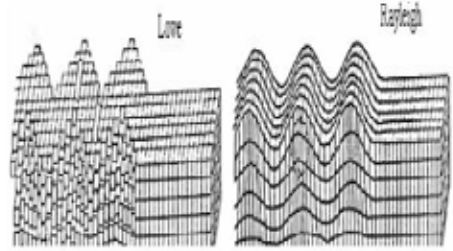


Figure 2. Directions of Love and Rayleigh waves (Bullen and Bolt Bruce, 1985)

The particle velocities are occurred by all of these waves and damage to the structures in close places of the blast. Among them the peak particle velocity is used as damage criteria. Thus it is very important that the peak particle velocity is minimum value during a blast. It was emphasized by the researchers that the peak particle velocity depend on the amount of explosive per delay, the delay interval, the distance between the point of origin of the vibrational source and the point of measurement of peak particle velocity value, and the site/damping coefficient (Duvall and Fogelson, 1962; Ambraseys and Hendron, 1968; Longefors and Khilstorm, 1978; Ghosh and Samaddar, 1984; Pal Roy, 1991; Singh et al., 2002; Kahrman 2002). Suitable blast hole mechanisms are arranged by using the said parameters for reducing the peak

particle velocity caused by the vibrational waves. In these methods, the amount of explosive is used either in small quantities or it is ensured that the delay intervals between the blast holes are kept long. However, if the amount of explosive used per delay is limited, suitable particle size cannot be obtained. This situation causes an increase in the costs of loading, transportation and crushing operations that are the subsequent phases of the production. The technique of keeping the delay intervals long between the blast holes is not also sufficient even if it endures the damping of a certain amount of waves.

In this study, a new technique tested at the laboratory for reducing the peak particle velocity arising from the vibrational waves. Two different types of tests were performed in the laboratory. In the first test, three the peak particle velocities were determined according to the method used in general. However, in the second one, the peak particle velocity value was measured according to the technique proposed in the laboratory envsteelment. After that two tests are compared eachother and it is seen that the technique proposed has considerably reduced the peak particle velocity value at the end of the study.

2 DEFINITION OF THE PROPOSED TECHNIQUE

In the blasts where the delay system is used, the blast holes are not

blasted simultaneously but consecutively with certain delays. The peak particle velocity is directly proportional to the amount of explosive. While the peak particle velocity is low in the blast holes containing small quantities of explosives, however, in the holes containing more explosives, the peak particle velocity is higher. From this point of view, the blast holes can be designed by the least amount in the blast hole to be blasted first, a little more than the previous one in the holes to be blasted subsequently according to the length of the delay, and the maximum amount of explosives in the last hole to be blasted. Thus, the vibrational waves created by the blast holes blasted with certain periods one after another can dampen the waves by catching each other along the propagation. In this way, the peak particle velocity occurring as a result of blast can be reduced considerably. Table 1 gives as an example the delay intervals and the amount of explosives used in the proposed technique. These values were only presented for expressing the logic of the technique.

Table 1. The using logic of proposed technique and presented

The delay intervals of blast holes	The amount of explosive material of the blast holes	Blast sequence
First blast hole, 25 ms	1 unit explosive material	1
Second blast hole, 50 ms	1.1 unit explosive material	2
Third blast hole, 75 ms	1.2 unit explosive material	3
Fourth blast hole, 100 ms	1.3 unit explosive material	4

An object free fall method was used in order to ensure the application of the technique explained above. Thus, the formation of the vibrational waves caused by the explosive blasted per delay was ensured onsite. As known, the square of an object's fall time from a certain elevation due to free fall technique is directly proportional to its falling elevation. In other words, an object fallen from a higher point shall drop to the ground in a longer period of time. This condition has also caused the formation of the delay intervals. Again according to the free fall technique, the amount of energy created by the object left to ground from a point higher than the free fall technique is higher. The usage of different elevations also means different amounts of explosives blasted per delay onsite.

3 LABORATORY STUDIES

It was ensured that the site/damping coefficients are fixed in the tests by measuring the peak particle velocity values always in the same direction. Also, the distance between the point of origin of the vibration source and the point of measurement of the peak particle value was always taken as 60 cm. Thus, the peak particle values was only depend on the size of energy and the delay interval creating the vibrational waves.

Two different types of tests were performed in the laboratory envstement. In the first of them, a steel ball weighting 242.5 g. was

dropped to the ground with the free fall technique from the elevations of 30, 40, and 50 cm and three different vibration source were created separately. In the tests, three different peak particle velocity values were measured by placing the geophone to the point 60 cm away from the point where the source of vibration was created (Table 2). The vibration measuring device and steel ball used in the tests are seen in Figure 3. In Figure 4, the point of origin of the vibration source and the measuring points are seen.

Table 2. The results of tests

The distance of steel ball dropped (h, cm.)	The distance between the point of origin of the vibration source and the point of measurement of the peak particle value (R, cm.)	The peak particle velocity measured (V, cm/s.)
The first type test		
30	60	0.105
40		0.120
50		0.145
The second type test		
30	60	0.065
40		
50		



Figure 3. The vibration device and the steel ball used in the tests

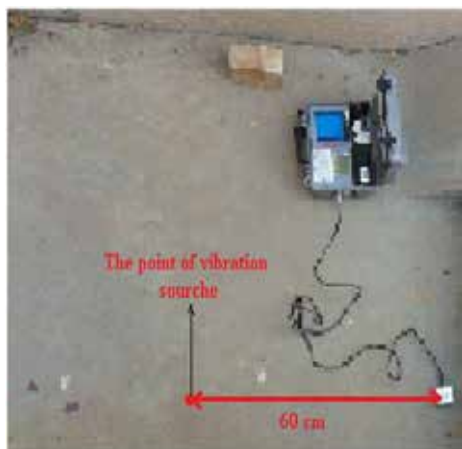


Figure 4. The point of vibration source and the point of peak particle velocity measured

However, in the second test, three steel balls having the same weight (242.5 g) were dropped to the ground simultaneously again with the same free fall technique from the elevations of 30, 40, and 50 cm in order to obtain suitable delay systems. At this point, while the energy and the delay interval created by the steel ball dropped to the ground from an elevation of 50 cm has been the highest, the energy and the delay interval of the steel ball dropped to the ground from an elevation of 30 cm has been the lowest. In this test, the peak particle velocity value was measured again at the point 60 cm away from the point of origin of the vibration source. Obtained results are given in Table 2.

4 EVALUATION

As also seen from Table 2, the peak particle velocity value formed when three steel balls having the same weight are dropped simultaneously from the elevations of 30, 40, and 50 cm was measured as 0,065 cm/s. This value is considerably lower than peak particle velocity value formed by the steel ball dropped from the elevation of 30 cm where the lowest energy was created (0,105 cm/s). This condition shows that the proposed technique reduces the vibrational waves.

This proposed technique must be applied in the site conditions and the results must be evaluated. Also, in the site conditions, the explosive amount and the delay period needed by the blast holes must be determined in order to obtain the minimum particle velocity value.

5 CONCLUSION

In this study, a new laboratory technique was developed for reducing the peak particle velocity arising from the blast and the tests of the technique were performed in the laboratory. Two different types of tests were performed in the laboratory. In the test of the first type, three peak particle velocities were determined normally. However, in the second one, the proposed technique was applied and peak particle velocity value was measured. The results obtained from both test types were compared with each other. During the comparison, it

was concluded that the peak particle velocity value belonging to the test performed by the developed technique (0,065 cm cm/s) was considerably lower than the peak particle value (0,105 cm) determined without applying the technique. The distance between the point of origin of the vibrational source and the point of measurement of the particle velocity were taken always the same (60 cm). Also, it was ensured that the site/damping coefficients are kept fixed again by performing all tests always in the same direction.

REFERENCES

- Ak, H., 2006. Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının yönsel değişiminin araştırılması, *Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Eskişehir. 261 sayfa
- Ambraseys, N.R. and Hendron, A.J., 1968. Dynamic behavior of rock masses, rock mechanics, In: Stagg and Zeinkiewicz (eds.). *Engineering Practice, John Wiley and Sons Inc.*, London, pp. 203–227.
- Bullen, K.E. and Bolt, Bruce A., 1985. *An introduction to the theory of seismology (4th ed.)*. Cambridge: Cambridge University Press, [ISBN 978-0521283892](https://doi.org/10.1017/CBO9780521283892).
- Duvall, W. I. & Fogelson 1962. Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibrations, *U.S. Bureau of Mines*, RI 5868.
- Ghosh, A.K. and Samaddar, A.B., 1984. Design of surface mine blast. *Min. Eng. J. Inst. Eng.*, (I), 52–57.
- Kahrman, A., 2002. Analysis of ground vibrations caused by bench blasting at Çan Open-pit Lignite Mine in Turkey, *Environmental Geology*. 41: 653-661
- Langefors & Khilström, 1978. “*The Modern Technique of Blasting*”, 3rd Ed, Halsted Press, 1978, Sweden.
- Pal Roy, P., 1991. Prediction and control of ground vibrations due to blasting, *Colliery Guardian*, 239(7), 210–215.
- Singh, T.N., Amit, P., Saurabh, P. and Singh, P.K., 2002. Prediction of explosive charge for efficient mining operation, *Rock Eng. Problems and approaches in Underground Construction*, South Korea, pp. 777–785.
- Siskind, D.E., Crum, S.V., Otterness, R.E., Kopp, J.W., 1989. Comparative Study of Blasting Vibrations From Indiana Surface Coal Mines, RI 9226, *Bureau of Mines*, 41 pages

Çorum Belediyesinin Taş Ocağında Elektronik ve Elektriksiz Patlatma Sistemlerinin Hava Şoku ve Yer Sarsıntısı Açısından Karşılaştırması

Comparison in Terms of Air Blast and Ground Vibration of Electronic and Non-El Blasting Systems at the Çorum Municipality's Quarry

V. Deniz

Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çorum

ÖZET Dünyada taş ocağı endüstrisinde elektronik gecikmeli ateşleyicilerle ilgi uygulamalar artmış, fakat Türkiye’de bu sistemin gelişmesi bugüne kadar maalesef olmamıştır. Geleneksel piroteknik gecikmeli ateşleme sistemlerinin maliyet avantajları sebebiyle elektronik gecikmeli ateşleyicilerin kullanımına yönelik düşünce taş ocağı sahiplerinin aklında en önemli engel olmuştur, ancak teknolojinin en üst sınırlarının kullanımı ile ilgili birçok örnekte olduğu gibi taş ocağı endüstrisinin anlamasında genelde zayıf kaldığı da bilinen bir gerçektir. Türkiye’de hemen hemen hiçbir taş ocağı genel maliyetlerin azalması ve ocak verimliliği artması açısından elektronik gecikmeli kapsüllere geçiş düşünmez iken, çok az taş ocağı sahibi elektronik gecikmeli kapsüllerin hava şoku ve yer sarsıntısı avantajı temelinde potansiyelini anlamış gibi gözükmektedir.

Bu çalışmada, bir taş ocağında elektronik kapsüller ile elektriksiz (non-el) kapsüllerin yer sarsıntısı ve hava şoku değerleri açısından bir kıyaslaması yapılmıştır.

ABSTRACT The quarry industry in the world has had exposure to electronic delay detonator, but the take-up of the system in Turkey has been not to date. The cost of the system over conventional pyrotechnic delay detonators presents the most significant hurdle in quarry owner's mind, but it is also true that examples of the overall benefits of the technology are generally poorly understood in the quarry industry. While the hardly ever quarries in Turkey that have converted to electronic detonators have done so on increasing productivity and reducing overall costs the basis of air blast and ground vibration control, few quarry owner's seem to have understood the potential the electronic delay detonator has decreasing on the basis of air blast and ground vibration control.

In this study, non-electrical and electronic capsules were compared in terms of ground vibration and air blast value in a quarry.

1 GİRİŞ

Patlatmalı kazı işlemlerinde, patlatmanın asıl amacı, kayayı kırarak gevşetmek veya ötelemektir. Yapılan patlatmadan iyi bir verim almak için belirli miktarda enerjiye ihtiyaç vardır. Patlayıcı maddeler kullanılarak elde edilen bu enerjinin tamamı kaya üzerinde yararlı iş görmemekte sadece % 20 kadarı patlatmadan verimli bir sonuç

almak için kullanılabilir (Deniz ve Deniz, 2015a).

Taş ocaklarında son yıllarda işletme verimliliği kadar düşündüren bir başka konu da çalışma şartlarından kaynaklanan çevresel etkilerdir. Özellikle şehirleşmenin artmasıyla, taş ocakları yerleşim birimleri tarafından çevrelenerek çeşitli şikâyetlere maruz kalmaktadırlar. Bunların başında

patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan yer sarsıntıları ve hava şokları gelmektedir. Şikâyetlerin nedenleri gerçek ya da psikolojik olabilir de ekonomik ve emniyetli bir patlatma yapılabilmesi için bu şikâyetlere konu olan nedenlerin giderilmesi de gerekmektedir (Deniz ve Deniz, 2015b).

Patlatma işlemlerinde patlayıcı madde türü ve miktarı ile ocak patlatma paterni verimlilik açısından önemli unsur olurken, ateşleme sistemleri patlatma verimliliğinin yanı sıra, özellikle hava şoku ve yer sarsıntısı gibi çevresel etkiler ile emniyet açısından daha önemli unsur haline gelmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye’de madencilik sektöründe ve özellikle taş ocaklarında patlatmalı yapılan temel kazılarda çok yeni olan elektronik kapsüller ile elektriksiz (Non-EI) kapsüllerin patlama işleminde önemli çevresel faktörlerden olan yer sarsıntısı ve hava şoku değerleri açısından uygulamalı bir kıyaslaması yapılmıştır.

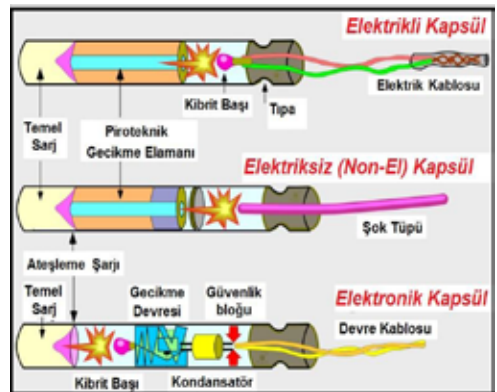
1.1 Taş Ocaklarında Geleneksel ve Elektronik Kapsüllerin Durumu

Ülkemizde son yıllarda elektrikli kapsüllerin yerine elektriksiz kapsüller madencilik alanlarında kullanılsa da taş ocaklarında bu konuda yeterli bilgiye sahip teknik elamanların olmaması nedeniyle yaygın olarak hala kullanılmamaktadır. Oysa, elektrikli kapsüllere kıyasla elektriksiz kapsüller çok daha emniyetli, minimum gürültü, minimum sarsıntı ve minimum taş fırlaması ile çok daha küçük parça boyutlu patlamış ürün elde edilmesini sağlaması ile aslında çok daha ucuzdur. Elektriksiz kapsüllerin avantajlarının başında elektriksiz olmaları nedeniyle emniyetli olmaları gelmektedir. Ayrıca, kablo kesme ve kabloların birbirine bağlanması gibi işlemler olmadığından çok kısa sürede bağlanmaları nedenleri ile çalışanların el ve bel ağrılarının oluşumunu azaltmaktadır. Elektriksiz kapsüller; yaklaşık 2.100 m/sn hızla ilerler ve tüpün içerisindeki şoku ileten malzeme patlayıcı değildir. Dolayısıyla, bu özelliğine bağlı olarak hava şoku ve gürültü gibi çevresel sorunlar yaratmaz. Ayrıca,

elektriksiz kapsüller sudan etkilenmediği için deliklerin doldurulmasından sonra, dolu delikler üzerine fiskeye ile su sıkılmakta ve bu sayede patlatma sonucu minimum toz oluşumu sağlanmaktadır. Bu sayede, çevreye minimum zarar verilmiş olunacaktır (Deniz, 2009; Deniz, 2011).

Taş ocaklarında elektronik patlatma uygulamaları Dünya’da son 15 yıldır uygulama alanı bulsa da, ülkemizde maalesef günümüze kadar uygulama alanı bulamamış ve uzun süre de yaygın bir şekilde uygulama alanı bulamayacağı gözükmektedir.

Elektronik ateşleme sisteminin yapısı, diğer elektrikli ve elektriksiz kapsüllerin yapısından farklı olarak sırasıyla; enerji besleme ve aktivasyon sistemi ile birlikte kablolu bir ateşleme enerjisi depolama aygıtı ve bir programlanabilir elektronik zamanlayıcı içeren elektrikli ateşleyiciden oluşmaktadır (Şekil 1). Elektronik ateşleme sistemlerinin, yüksek hassasiyet derecesine sahip olması, geniş bir gecikme yelpazesi nedeniyle verimli bir patlatma sağlaması, hava şoku ve yer sarsıntısının azaltılmış olması, elektrikli ortamlarda güvenli kullanım ve gecikme başına kapsül miktarını sınırlamasının olmaması gibi birçok avantajı vardır. Bu kadar çok avantaj örneğinin olduğu elektrikli kapsüllerin, yüksek kapsül maliyeti ve kullanıcılar için yoğun bir eğitim ihtiyacı gibi bazı dezavantajlara da sahiptir (Bratun ve Kortnik, 2011; Cardu ve ark., 2013; Kumar ve ark., 2015; Jadhav ve Patil, 2016).



Şekil 1. Üç farklı kapsülün yapısal farklılıkları

1.2 Patlatmadan Kaynaklı Çevresel Faktörler

Taş ocaklarında kırmataş üretimi için yapılan patlatmalar, getirdiği ekonomik kazanımlar nedeniyle vazgeçilmezdir. Bununla beraber, patlatmalar sonucu oluşan taş fırlaması, toz oluşumu, yer sarsıntıları ve hava şokları ocak çevresindeki yerleşimler için önemli sorunlar oluşturmaktadır. Bu sorunlar arasında özellikle yer sarsıntıları ve hava şokları öne çıkmaktadır. İşletmeler, patlatmaların yarattığı bu olumsuz etkileri en az düzeyde tutabilmek ve çevreye zarar vermeyecek için gerekli ölçüm ve değerlendirme çalışmalarını yapmak ya da yaptırmak zorundadırlar (Deniz ve Deniz, 2015b).

Patlatma kaynaklı yer sarsıntıların çevre yerleşim yerlerine olan etkilerinin belirlenmesi ve minimize edilmesinde alışıla gelmiş yöntem, sismografla en yüksek parçacık hızlarının belirlenmesi, patlatma ile ölçüm alınan yer arasındaki güzergah için arazi katsayılarının saptanması, sarsıntının yayılma kuralını belirleyen ölçümlerden sağlanan formülün bulunması ve bu formül kullanılarak yapılan patlatmalar için mesafeye bağlı olarak bir seferde güvenle ateşlenebilecek en yüksek patlayıcı madde miktarlarının saptanmasıdır (Siskind ve ark., 1980; Anderson ve ark., 1982; Dowding, 1985).

Hava şoku patlatma ile oluşan ve istenmeyen etkilerden biridir. Hava şoku ender olarak binalarda hasara yol açsa da yarattığı ani ve güçlü gürültü sebebiyle yakınında bulunan yerleşim yerlerindeki kişiler için şikâyet kaynağıdır. Patlatma ile oluşan hava şoku düzeyleri desibel (dB) cinsinden ifade edilmekte ve sahip olduğu büyüklük oranında hasar yaratmaktadır.

Hava şoku patlatmadan kaynaklanan, havada yayılan basınç dalgalarıdır. Havanın makaslama direnci olmadığı için sadece basınç dalgaları taşır. Hava şoku dalgaları genellikle yer sarsıntılarına göre 5-20 kat daha yavaş yayılır ve patlatma yerinden uzaklaştıkça sönümlenir. Hava şoku üzerine yapılan araştırmalarda, incelenmesi gereken en önemli parametreler gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı ve ölçüm

istasyonuna olan uzaklıktır. Bir taşocağında veya çevresinde patlatmadan kaynaklanan hava şoku; ateşlenen patlayıcı miktarı, patlatma yeri ile ölçüm yeri arasındaki uzaklık ve hava şartları gibi pek çok unsura bağlı olarak değişebilir. Bu sebeple herhangi bir taşocağı veya çevresinde gürültü durumunun değerlendirilmesi ve belirlenmesi gereklidir (Bilgikoçin ve Bilgin, 2007).

2 ÇALIŞMA SAHASI

Çalışma sahası olan Çorum Belediyesine ait taş ocağı, Çorum il merkezinin 3 km doğusunda ve deniz seviyesinden 1100 m yükseklikte yer almaktadır (Şekil 2).

Çorum Belediyesi taş ocağı, Çorum-Samsun Yolunun 2400 m güneyinde, Çorum Merkez Bahçelievler Mahallesi, Nadık bölgesinin 1600 m doğusunda, Melikgazi bağlarının 360 m kuzeydoğusunda, Afet konutlarının 470 m kuzeydoğusunda, Melikgazi Türbesine 400 m güneydoğusunda bulunmaktadır.

Çalışma sahası ile Belediye Taş ocağına ait Şantiye binası, Trafo ve Kantar gibi binalara olan uzaklık ise 340-550 m arasındadır (Şekil 3).



Şekil 2. Çalışma alanı yer bulduru haritası



Şekil 3. Çalışma bölgesinin uydu görüntüsü

olarak uygulanmıştır. Gecikme başına maksimum şarjın belirlenmesinde; yemlemede kullanılan dinamitin ağırlığı (0.5 kg) ve ANFO göz önüne alınmış olup, atım yeri ile ölçüm istasyonu arasındaki mesafe ise GPS ile bulunmuştur.



Şekil 4. Ocak içerisinde delici makinenin patlatma deliklerini delerken görüntüsü

3 ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu araştırma kapsamında, Çorum ili merkez ilçesinin yakınında agrega üretimine yönelik faaliyet gösteren Belediyeye ait taş ocağındaki patlatmalı kazıların, söz konusu ocağın yakınında bulunan konutlara elektriksiz ve elektronik ateşleme sistemlerinin yer sarsıntıları ve hava şoku ölçümleri ile etkisi araştırılmıştır. Alınan yer sarsıntı ve hava şoku ölçümlerine göre yapılan analizler sonucunda her iki ateşleme sistemi kıyaslanmıştır.

Patlatma çalışmasında, delme işlemi Atlas Copco marka delici makine ile yapılmıştır (Şekil 4). Patlayıcı madde olarak kuru ticari ANFO kullanılmıştır. Patlatma sonucu çıkan yer sarsıntı ve hava şoku ölçümleri için bir adet InstanTEL Micromate ve 2 adet InstanTEL Minimate Blaster model sismometre aletleri kullanılmıştır (Şekil 5). Elde edilen veriler bilgisayar programlarıyla değerlendirilip, büro çalışmalarıyla raporlandırılmıştır.

Bölgede yapılan patlatma işleminde patlayıcı madde olarak ANFO, yemleme de EMULITE dinamit kullanılmıştır. Ateşleme ise elektriksiz gecikmeli kapsüller ve elektronik kapsüller ile yapılmıştır. Elektriksiz kapsüllerle delikler arası mesafe ve yük mesafesi 2.5x2.5m olarak, elektronik kapsüllerle 3.0x3.0m olarak alınmış ve delikler şebekes düzeninde delinmiştir. Sıkılama boyu 2.5m olarak ve dip delgi miktarı 1m



Şekil 5. InstanTEL Minimate Blaster model ve InstanTEL Micromate model titreşim (yer sarsıntısı) ve hava şoku ölçüm cihazları

Yer sarsıntıları için ölçekli mesafenin belirlenmesinde benzer araştırmalarda en sık kullanılan kareköklü eşitlikten yararlanılmıştır (Duvall ve Fogelson, 1962).

$$SD = R/W^{0.5} \quad (1)$$

Farklı miktarlarda ve farklı mesafelerde patlatılan patlayıcılardan oluşan hava şoku dalgalarının karşılaştırılması için de ölçekli mesafe yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem eşdeğer ölçekli mesafelerde eşdeğer hava şoku dalgalarının oluştuğunu varsayar. Hava şoku yayılımında veriler daha az dağılım gösterdiği için genellikle küp kök tipi ölçekli

mesafe yöntemi tercih edilir (Siskind ve ark., 1980).

$$SD = R/W^{1/3} \quad (2)$$

Burada;

R: Patlatma noktasına uzaklık (m)

W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

SD: Ölçekli mesafe (yer sarsıntısı için $m/kg^{1/2}$; hava şoku için $m/kg^{1/3}$)

Araştırmada; elektriksiz kapsüllerle 18 adet test atımına ait toplam 25 olay ve elektronik kapsüllerle 4 adet test ve 9 olay 3 adet yer sarsıntı ölçer cihazlar tarafından kaydedilmiştir. Yer sarsıntı ölçer cihazlar, Çorum Belediyesi taş ocağında yapılan atım noktaları ile farklı yönlerde ve muhtelif uzaklıklarda GPS (Global Positioning System) ile belirlenen ölçüm istasyonlarına Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'deki gibi sistematik bir şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 8. Ölçü aletinin yerleştirme durumu görünümü

Elektriksiz kapsüllerin deliklerdeki bağlantı durumu ile elektronik kapsüllerin uygulaması sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Elektriksiz kapsül uygulaması



Şekil 6. Ocak içerisinde patlatma bölgesi ile jeofon noktasının görünümü



Şekil 4. Ocak dışarısında jeofon noktası ile patlatma bölgesinin görünümü



Şekil 10. Elektronik kapsül uygulaması

4 ELEKTRİKSİZ ve ELEKTRONİK ATEŞLEME SİSTEMLERİNİN KIYASLAMASI

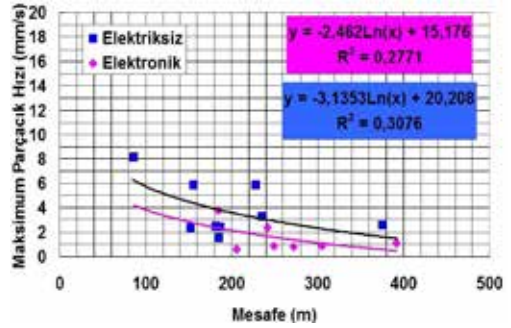
İyi bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan biri de patlatmanın çevresel etkiler açısından emniyetli yapıyor olmasıdır. Bu tür çevresel duyarlılıklar dikkate alındığında, patlatma kaynağından belirli uzaklıkta bulunan bir yerleşim biriminin ya da tesisin; patlatma sonucu oluşacak gürültü ve titreşimden etkilenmemesi bakımından; herhangi bir gecikme aralığında kullanılacak en fazla patlayıcı miktarını önceden belirleyebilmek ve kontrollü patlatmalar gerçekleştirebilmektir (Deniz, 2016).

Elektronik Kapsüller ile çevresel faktörleri minimize edebilmek için Türkiye’de 2013 yılından bu yana bazı projelerde kullanıldığı ve Yurttaş ve arkadaşları (2015) tarafından ilk verilerin değerlendirilmesini 8. *Delme Patlatma Sempozyumunda* sunulduğu belirlenmiştir.

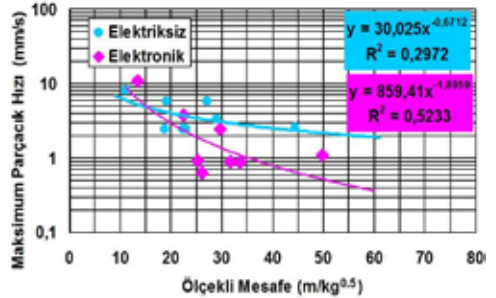
Bu çalışmada ise Çorum ilinde Belediye ait taş ocağında 4 adet elektronik kapsüller ve proje başından sonuna kadar 18 adet elektriksiz kapsüller ile patlatma uygulaması yapılmıştır. Çalışmada, patlatmalı yapılan kazılarda kullanılan Elektriksiz kapsüller ile Elektronik kapsüllerin çevresel faktörler yönünden değerlendirilmesi yapılarak farkları sunulmuştur.

Elektriksiz kapsüller ile patlatmalarda delikler arası 25 ms gecikme kullanılırken, sıralar arasında 42 ms yüzey gecikmesi kullanılmıştır. Elektronik kapsüllerde ise delikler birbirinden farklı olarak 9 ms, 17 ms, 25 ms aralıklar ile patlatılmıştır. Doğru kıyaslama yapabilmek için aynı günde hem elektriksiz hem de elektronik ateşleme sistemi uygulaması yapılmıştır. Şekil 11’de bu uygulamanın maksimum parçacık hızı (PPV) ile mesafe (R) arasında ilişki gösterilmiştir. Şekil 11’de görüleceği üzere, maksimum parçacık hızı ile mesafe arasındaki ilişki katsayısı ölçüm verisinin az olması sebebiyle düşük olmakla birlikte, elektronik ateşleme ile elektriksiz ateşlemeye göre daha düşük parçacık hızlarının elde edildiği gözüküştür.

Şekil 12’de ise maksimum parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 12’de görüldüğü üzere, elektronik ateşleme sistemi elektriksiz olan ateşleme sistemine göre daha düşük maksimum parçacık hızları elde edilmiş ve yer sarsıntısı açısından daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 11. Elektronik ve Elektriksiz kapsüller ile yapılan patlatmaların mesafeye bağlı olarak elde edilen maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişki



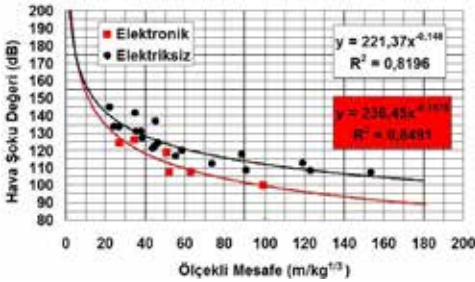
Şekil 12. Elektronik ve Elektriksiz kapsüller ile yapılan patlatmaların ölçekli mesafeye bağlı olarak elde edilen maksimum parçacık hızı değerleri arasındaki ilişki

Çevresel şikâyetlerde hava şokunun (gürültü) önemi büyüktür. Hava şoku insanları psikolojik olarak rahatsız eden bir etkidir. Hava şoku ne kadar düşürülürse algı da o kadar düşürülebilir ve şikâyetler ortadan kaldırılabilir. Şekil 13 ve Şekil 14’de elektriksiz ve elektronik ateşleme sistemi

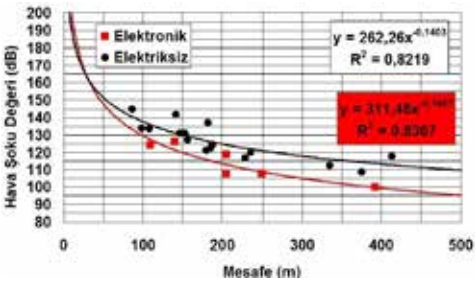
için hava şoku değerleri ile hem ölçekli mesafe (SD) hem de mesafe (R) arasında ilişki verilmiştir.

Şekil 13 ve Şekil 14'de görüleceği üzere çevre yerleşim yerlerinde gürültü şikâyetini azaltacağı düşük şok değerleri ile elektronik ateşleme sistemi elektriksiz ateşlemeye oranla çok daha az hava şoku ürettiği ortaya konmuştur.

Bu çalışmada elektronik patlatma uygulaması yalnızca 4 adet olarak, yani az yapıldığından dolayı, bu regresyon ilişki katsayısını güçlendirmek için çok daha fazla uygulama yapılması gerekir.



Şekil 13. Elektronik ve Elektriksiz kapsüller ile yapılan patlatmaların ölçekli mesafeye bağlı olarak elde edilen hava şoku değerleri ilişkisi



Şekil 14. Elektronik ve Elektriksiz kapsüller ile yapılan patlatmaların mesafeye bağlı olarak elde edilen hava şoku değerleri ilişkisi

Taş ocaklarında patlatmanın başarı ölçütlerinden biri de elde edilen ürünün blok verip vermemesi ve kırma devresinde sorun çıkarıp çıkarmamasıdır. Patlatılmış ürünler açısından da kıyaslandığında Şekil 15'de elektriksiz kapsüllerle ve Şekil 16'da ise elektronik kapsüllerle patlatma sonucu elde

edilen ürünün boyut durumu verilmiştir. Şekil 16'da görüleceği üzere çok daha ince ürün vermiştir.



Şekil 15 Elektriksiz kapsüller ile yapılan patlatmada elde edilen patlatılmış ürün görünümü



Şekil 16. Elektronik kapsüller ile yapılan patlatmada elde edilen patlatılmış ürün görünümü

Elektronik patlama işlemleri esnasında, Melikgazi Bağ evlerinde ve Afet konutlarında önceden rahatsızlık bildiren kişilerin algı düzeyleri araştırılmış ve hiç bir şey hissetmedikleri anlaşılmıştır. Dahası, kırıcı takılarak büyük blokları kırmak için çalışma yapılan günlerde kırıcı gürültüsünün elektronik patlamaya göre ocakta çalışanların algısı açısından daha çok rahatsız ettiği anlaşılmıştır. Bu da elektronik ateşleme sistemi ile patlatma yapmanın, ocak için şikâyetler sebebiyle kapanma korkusu yerine daha hızlı, daha ekonomik ve çevreye rahatsızlık verilmeden çalışmayı sürdürmesi

açısından yarar sağlayacaktır. Bu sayede, Elektronik Kapsüller ile daha fazla delik patlatılmasına ve toplamda daha fazla ANFO (ana şarj) kullanılmasına rağmen, maksimum parçacık hızlarında (mm/sn) ve hava soklarında (dB) ciddi düşüşler sağlanacaktır.

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürde olduğu gibi bu çalışmada da elektronik kapsüllerin hem yer sarsıntısı hem de hava şoku değerleri açısından çok daha avantajlı olduğu ortaya çıkmıştır.

Çalışma; başlangıçta insanları huzursuz eden hava şokunu ve yer sarsıntısı değerlerini indirmek amacıyla yapılmış olup daha sonra gecikmelerin tarafımızdan değiştirilmesi ile parça boyutunun da gözle görülür ölçüde iyileşmesi ile sonuçlanmıştır. İyi parçalanma ve kesin zamanlı detonasyon beraberinde (pozitif yan etkiler) sarsıntının da düşmesine yol açmış ve birim delik başına olan üretimi de arttırmıştır.

Ayrıca, elektronik kapsüller ile çevresel avantajların yanında, delikler arası mesafe 2.5 m'den 3.0 m'ye çıkarılarak patlatılacak alanın hacmi artırılmış ve ocak üretim verimliliği ile kapasite artışı açısından çok daha iyi sonuçlar elde edildiği ortaya çıkmıştır.

Tabii ki tüm yeni teknolojilerin maliyet dezavantajlarında olduğu gibi elektronik kapsüllerde de bu dezavantajın zamanla giderileceğini ve tüm Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de yaygınlaşacağını tahmin etmek çok zor değildir.

Bu ön testlerden elde edilen iyi sonuçların ileride yapılacak çalışmalarla çok daha iyi sonuçlar alınarak desteklenmesi gereği de vardır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Üniversite-Kamu İşbirliği örneği olarak Çorum Belediyesinin "**Çorum İçin Bir Proje Var**" kapsamında yapılan bir araştırma projesi ile yapılmıştır. Bu araştırma sırasında, gerek arazi çalışmalarında gerekse diğer faaliyetlerde her türlü yardımda bulunan başta Çorum

Belediye Başkanı Muzaffer Külcü olmak üzere Belediyedeki diğer yetkililere ve Belediyenin patlatma işlemlerini gerçekleştiren yüklenici firma olan ÖZKAR İnşaat ve Nakliyat Şirketi yetkilerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Anderson, D.A. Winzer, S.R., Ritter, A.P. 1982. Blast design for optimizing fragmentation while controlling frequency of ground vibration. *Proceedings of the 8th Conference on Explosives and Blasting Technique*, 69–89, New Orleans, USA.
- Bilgikoçin, O., Bilgin, H.A. 2007. Uşak Kışladağ altın madeninde ön-kesme patlatmasından kaynaklanan hava şoku basıncı analizi, *V. Delme Patlatma Sempozyumu*, 189-196, Ankara.
- Bratun, J., Kortnik, J. 2011. Evaluation of the need for electronic detonator systems for blasting operations in Slovenian mining industry, *4th Balkan Mining Congress*, 407-416, Slovenia.
- Cardu, M., Giraudi, A., Oresto, P. 2013. A review of the benefits of electronic detonators, *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 66(3), 375-382.
- Deniz, V., 2009. Taş Ocaklarında Uygulanan Eski Yanlı Aışkanlıklara Yeni Bakışlar, *5. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 329-349, İstanbul.
- Deniz, V. 2011. Kırmataş ocaklarında ergonomik uygulamaları, *6. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 157-172, Sivas.
- Deniz, V., Deniz, O.T. 2015a. Çorum çimento taş ocağında yapılan patlatmaların çevresel etkiler açısından değerlendirilmesi, *5. Madencilik ve Sempozyumu*, 144-158, Antalya.
- Deniz, V., Deniz, O.T. 2015b. Çorum Belediyesinin taş ocağında patlatma kaynaklı titreşimlerin yönel açıdan değerlendirilmesi, *5. Madencilik ve Sempozyumu*, 159-174, Antalya.
- Deniz, V. 2016. Çorum Belediyesi ve Özel Sektöre Ait Taş Ocaklarında Çevreye Duyarlı Patlatma Yöntemlerinin Araştırılması ve Verimlilik Analizleri Açısından Değerlendirilmesi, *Çorum Belediyesi "Çorum İçin Proje Var" KİT Projesi*, Çorum.
- Dowding, C.H. 1985. *Blast Vibration Monitoring and Control*, Prentice-Hall, USA.
- Duval W.I., Fogleson, D.E. 1962. *Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibration*, USBM-I 5968.
- Jadhav, P.Y., Patil, R.A. 2016. Mechanism of electronic delay device for detonator, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5: 8640-8651.

- Kumar, V., Karra, V., Singh, A., Babu, B., Kumar, A. 2015. Programmable electronic delay detonator, *International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering*, 3:138-145.
- 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 Report of Investigations*, USA.
- Yurttaş, M., Özkul, O., Bayındır O., Atlıhan U. 2015. Kartal Meeting Point projesinde uygulanan patlatmalı temel kazısında elektronik kapsül kullanımının hava şoku, sarsıntı ve verimlilik açısından incelenmesi, 8. *Delme-Patlatma Sempozyumu*, 187-196, İstanbul.

Geleneksel ve Elektronik Ateşleme Sistemlerinin Karşılaştırılması

Comparison of Conventional and Electronic Blasting Systems

V. Deniz

Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çorum

ÖZET Ateşleme sistemi yüksek miktardaki patlayıcıları ateşlemek ve patlatabilmek için tasarlanmış bir cihazdır. Birçok ateşleme sistemi ateşlemeyi başlatan enerji kaynağına göre emniyet fitili, infilaklı fitil, elektrikli, elektriksiz ve elektronik kapsüller olarak gruplandırılır. Hassas olan patlayıcı ateşleme sistemleri (elektrikli, elektriksiz ve elektronik kapsüller) silindirik metal bir kap içersine yerleştirilmişlerdir. Ateşleme sistemleri, güvenli bir şekilde kontrol edilen ve önceden belirlenmiş bir sıra ile daha fazla patlayıcı miktarlarını patlatabilmek için tasarlanmıştır.

Geleneksel ateşleyici sistemleri piroteknik geciktirme elemanları kullanırlar ve gerçek gecikme sürelerindeki sapma en iyi ihtimalle yaklaşık % 1'lik nominal gecikme yaratabilmektedir. Tüm piroteknik geciktiricilerin bu hassasiyet eksikliği patlatmadan kaynaklı olumsuz çevresel etki olasılığını artırır. Bunu aksine, elektronik olarak gecikme verilebilen ateşleme sistemleri ise gecikme aralıkları arasında sapma olmadığından düzgün patlatma yüzey paterni oluşturması ile her patlamanın sürekli aynı olmasını sağlar. Hemen hemen yok denecek kadar gecikme sapması ile elektronik ateşleme sistemleri, sıralı patlatma sağlayarak kontrollü patlatma işleminin sağlanmasında önemli bir araçtır.

Bu çalışmada, geçmişten günümüze kadar madencilik ve kırmataş sektöründe yapılan patlama uygulamalarında ateşleme sistemlerinin kıyaslaması üzerine durulacaktır. Özellikle elektronik ateşleme sisteminin hem çevresel hem de verimlilik açısından avantajları tartışılacaktır.

ABSTRACT Detonator is a device designed to explode and initiate a high explosive. Various detonators categorised with respect to initiation signal energy source, i.e. safe fuse, detonating cord, non-electric, electric and electronic. Contain sensitive explosive (non-electric, electric and electronic detonators) charges encased in cylindrical metal shell. Initiating systems are designed to safely activate larger explosive charges at a controlled time and in a pre-determined sequence.

Conventional detonators use pyrotechnic delay elements and the variation of the actual delay periods is at best approximately 1% the nominal delay. The lack of guaranteed precision common to all pyrotechnic systems enhances the likelihood of negative environmental blasting effects. On the contrary, the negligible variations in the electronic delays mean that the firing pattern will consistently be the same for each blast resulting in uniform blast results. Electronic detonators are a key tool in establishing control of the blasting process due to their precision delay and consequent ability to ensure sequential firing.

In this study, ignition systems will focus on the comparison of detonators used in mining area until the past to the present. Especially electronic ignition system will be discussed in terms of both environmental and productivity advantages.

1 GİRİŞ

Taş ocağı işletmecilerini, son yıllarda işletme verimliliği kadar düşündüren bir başka konu da çalışma şartlarından kaynaklanan çevresel sorunlardır. Özellikle şehirleşmenin artmasıyla, yerleşim birimleri tarafından taş ocakları çevrelenerek çeşitli şikâyetlere maruz kalmaktadırlar. Bunların başında delme-patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan yer sarsıntıları ve hava şoku gelmektedir. Patlatma işlemlerinde patlayıcı madde türü ve miktarı ile ocak patlatma paterni verimlilik açısından önemli unsur olurken, ateşleme sistemleri, özellikle hava şoku ve yer sarsıntısı gibi çevresel etkileri ve emniyet açısından daha önemli unsur haline gelmektedir. Yanlış patlatma uygulamalarından dolayı birçok ocak çevresindeki halk duyarlılaştırılmış ve en ufak bir sarsıntıdan rahatsızlık duyar hale getirilmiştir (Deniz ve Deniz, 2015a; Deniz ve Deniz, 2015b; Deniz, 2016a).

Patlatmadan kaynaklanan çevresel sorunlara çözüm için uygun ateşleme sistemleri kullanarak, hem uygun gecikme aralıklarının oluşturulması ile yer sarsıntılarının düşürülmesi sağlanmış hem de yüzey de oluşabilecek ateşleme sistem elamanlarının oluşturacağı olumsuz hava şoku etkileri ortadan kaldırılmış olacaktır.

Bu çalışmada, geçmişten günümüze kadar madencilik alanında yapılan patlama uygulamalarında ateşleme sistemleri kıyaslaması üzerine durulacak ve özellikle elektronik ateşleme sisteminin hem çevresel hem de verimlilik açısından avantajları tartışılacaktır.

1.1 Ateşleme Sistemlerinin Tarihçesi

Ateşleme sistemlerinin tarihçesine bakıldığında, madencilik alanında ilk olarak 1600'lü yıllarda Hindistan da *Kara Barut* kullanılmıştır (Şekil 1). Kara barut, çok değişken yanma hızları olması sebebiyle birçok ölümlü kazalara yol açmış son derece tehlikeli bir ateşleme türüdür. 1831 yılında William Bickford tarafından kara barutun patlatma uygulamalarındaki yarattığı tehlikeyi önlemek için kara barutun etrafı su geçirmez malzeme ile kaplanarak bir ip

şekline getirilerek *Emniyet Fiteli* geliştirmiştir (Şekil 2). Fakat, emniyet fitillerin bazı olumsuzlukları sebebiyle güvelik tehlikesi tam olarak aşlamamıştır. Ascanio Sobrero 1846'da Nitrogliserini keşfetmesi ve 1863 yılında Alfred Nobel tarafından *Pratik Ateşleyici*'yi geliştirmesi ile tehlikelerin önüne nispeten geçilmiştir. Pratik ateşleyici, metal bir kap içerisine fazla miktarda nitrogliserin ile kara barutu ahşap bir tıkaç ile yerleştirilerek üretilmiştir (Şekil 3). 1865 yılında ise Alfred Nobel daha ucuz maliyetli olması ile endüstriyel uygulamada kullanımı yaygınlaşan *Civa Kapsüllerini* geliştirmiştir. Civa kapsüllerin geliştirildikten sonra madencilikte yüksek miktarda patlayıcı ile patlatma işlemleri geliştirilmiş ve daha sonraki ateşleme sistemlerine öncülük etmiştir. 1880'li yılların sonlarında ilk kapsül tipi ateşleyicilerden olan *Adi Kapsüller* geliştirilmiştir (Şekil 4). İlk olarak H. Julius Smith 1868'de adi kapsül ile güvenli ateşleme sistemi için patent almış ve günümüze kadar birçok kez yapısı geliştirilmiştir. Adi kapsüller genellikle emniyetli fitiller ile birlikte kullanılmaktadırlar. 1900'lü yılların başlarında *Yarım Saniyeli Gecikmeli Kapsüller* (Şekil 5) ve *İnfilaklı Fitiller* (Şekil 6) geliştirilmiştir. 1943'de ise *Milisaneyeli Gecikmeli Elektrikli Kapsüller* (Şekil 7) piyasada satılmaya başlanmıştır. Elektrikli kapsüllerin hepsi ısı, şok, statik elektrik, radyo frekansı ve elektromanyetik dalgalara karşı hassas olan ateşleme sistemleri olmaları sebebiyle emniyet açısından problem yaratabilmektedirler. İnfilaklı fitiller her ne kadar elektrikli kapsüllerin yukarıda bahsedilen ve tehlike yaratan ortamlardaki hassasiyete sahip olmamalarına rağmen, aşırı gürültü çıkarmaları, yüksek maliyeti olmaları ve delik içerisindeki birincil yemleyici olan dinamite ulaşıncaya kadar ikincil yemleyici olan ANFO'yu yakarak patlamada verimsizliklere yol açmaları gibi dezavantajlara sahiptirler (Cardu ve ark., 2013; Kumar ve ark., 2015).

1960'larda Dyno Nobel tarafından şok tüpü ile ateşleme işlemini gerçekleştiren *Elektriksiz Ateşleme Sistemleri* (NONEL)

geliştirilmiştir (Şekil 8). 1973 yılından itibaren elektrikli ateşleme sistemlerinin tüm avantajlarını içermekle birlikte dezavantajlarını (ısı, şok, statik elektrik, radyo frekansı ve elektromanyetik dalgalara karşı hassasiyet) içermemesi ve elektrikli ateşleme sistemlerine kıyasla çok daha geniş gecikme aralıklarının uygulanabilme esnekliğine de sahip olması sebebiyle kullanımı tüm dünyada yaygınlaşmıştır. Geniş gecikme aralıklarının veriliyor olabilmesi ile çevresel etkiler açısından hava şokundan kaynaklı gürültü ve yer sarsıntı miktarları da azaltılmış olmaktadır. Elektriksiz ateşleme sistemlerinin yukarıda bahsedilen avantajlarının yanı sıra, elektriksiz kapsüllerdeki gecikmelerde sapmaların olabilmesi, ateşleme devresinin kontrol edilememesi ve pahalı olması ise dezavantajlarındandır. Başta ABD olmak üzere Dünyada gelişmiş ülkelerin çoğunda hala elektriksiz ateşleme sistemi en çok kullanılan ateşleme türüdür (Cardu ve ark., 2013; Kumar ve ark., 2015).

Dünyada *Elektronik Ateşleme Sistemlerinin* (Şekil 9) ilk ifade edilişi 1973 yılında Amerika-Kentucky’de bir Patlatma Konferansındadır. 1980 yılında Orica Madencilik Firması tarafından Avustralya’da ilk defa kullanılmış fakat 1999 yılına kadar ticari olarak uygulanması yapılmamıştır. Daha sonra çok farklı firmalar tarafından piyasaya sürülmüştür. Elektronik ateşleme sistemlerinde diğer ateşleme sistemlerinden en önemli farkı ateşleme işleminde gecikmenin piroteknik tozlar ile değil elektronik devreler ile yapıyor olmasıdır. Elektronik ateşleme sistemleri diğer ateşleme sistemlerine kıyasla, gecikmelerin sahada patlatma mühendisinin ocak durumuna göre verilebilmesi yani gerektiğinde gecikmeleri değiştirebilmesi ve ateşleme devresinin patlatma işlemi öncesi kontrol edilebilmesi gibi büyük avantaja sahiptirler. Ayrıca, neredeyse sonsuz gecikme verilebilmesi (1 ms aralıklarla 40000 ms kadar) ile bir defada çok fazla patlayıcı tonajlarında atımları yaparak zamana bağlı projeleri çok kısa sürede gerçekleştirebilmek işletmeye çok büyük bir avantaj sağlamaktadır. Çevresel faktörler

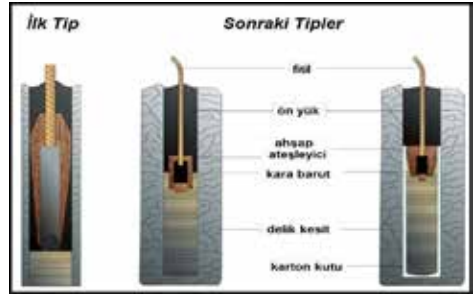
açısından da diğer ateşleme sistemlerine kıyasla çok düşük hava şoku ve yer sarsıntısı oluşturması da önemli bir avantajdır. Elektriksiz ateşleme sistemleri gibi güvenliği yüksek olan bir sistemdir. Elektronik ateşleme sistemlerinin yukarıda sayılan birçok avantajlarına rağmen bazı dezavantajları da vardır. Bunlar, birim ateşleme sistem maliyetinin fazla olması, özel manyeto ve eğitilmiş kişiler tarafından yapılabilir olmasıdır (Bratun ve Kortnik, 2011; Babu ve ark., 2013; Cardu ve ark., 2013; Kumar ve ark., 2015; Jadhav ve Patil, 2016).



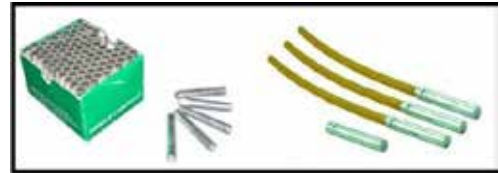
Şekil 1. Kara barut



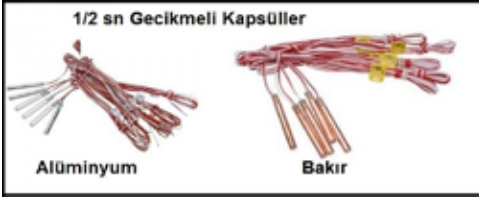
Şekil 2. Emniyet fitili



Şekil 3. Pratik ateşleyici



Şekil 4. Adi kapsül ve emniyet fitili ile bağlantısı

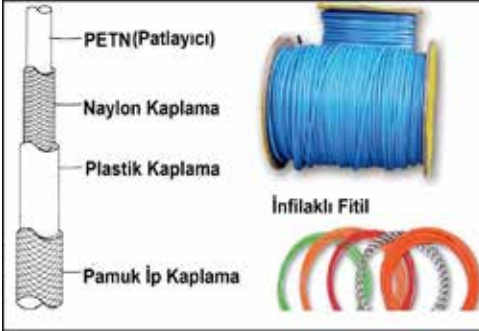


Şekil 5. Gecikmesiz (1/2 saniyeli gecikmeli) elektrikli kapsüller

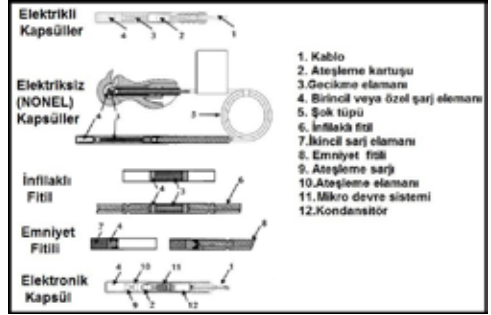


Şekil 9. Elektronik kapsüller

Geleneksel ve elektronik ateşleme sistemlerinin elamanları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 6. İnfilaklı fitil



Şekil 10. Ateşleme sistemlerinin elamanları



Şekil 7. Gecikmeli elektrikli kapsüller

1.2 Ateşleyici Sistemlerin Karşılaştırılması

Taş ocaklarında patlatma işlemlerinde eskiden bu yana infilaklı fitil veya gecikmesiz elektrikli kapsül kullanımı hala devam etmektedir. Ateşçiler, elektrikli kapsüllerden daha emniyetli olması sebebiyle infilaklı fitil uygulamasını hala tercih etmektedirler. Oysa infilaklı fitil uygulamasında, fitilin yemlemeye ulaşana kadar zaten bir yanma işlemi yapmasından dolayı delik içerisinde ki ANFO'nun bir kısmını yakmakta ve patlatma verimini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, infilaklı fitillerin içindeki PETN' nin patlayıcı olması ve yaklaşık 7.000 m/sn hızla patlaması özellikle çevresel etkiler açısından en büyük olumsuzluktur. Açıkta patlayan kısımları önemli değerlerde hava şoku ve gürültü oluşturmaktadır (Deniz, 2009; Deniz, 2011).

Adi kapsül kullanımında, kesme-bağlama gibi işlemler çok büyük bir zaman



Şekil 8. Elektriksiz (Non-EI) kapsüller

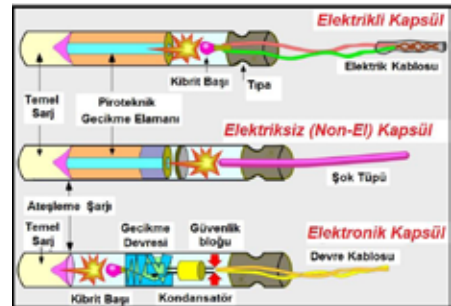
almaktadır. Ayrıca, 3 ve üzeri sıralı patlatmalarda, ön yük mesafesinin büyümesinden verimsiz patlatmaya ve iri blok çıkmasına yol açmaktadır. Elektrikli adi kapsüller (numarasız 8 nolu elektrikli tahrip kapsülleri); patlatma işlemlerinde tüm kapsüller bir arada patladığından büyük bir gürültü ve ses açığa çıkmaktadır. Ayrıca, aynı anda patlayan kapsüller büyük bir sarsıntıda oluşturmaktadır (Deniz, 2009; Deniz, 2011).

Gecikmeli elektrikli kapsüller nispeten verimli patlatmalar için geliştirilse de iş güvenliği açısından problem doğurmaktadır. Ayrıca, kablo kesme-bağlama-bantlama gibi işlemlerin çok uzun zaman veya ilave ateşçi ihtiyacı gerekmesi önemli bir dezavantajdır. Elektrikli kapsüller ile yapılan patlatma işlemlerinde; patlatma sahasında cep telefonu, telsiz ve diğer elektronik cihazların bulunması veya ocak üzerinden geçen yüksek gerilim hatlarının bulunması, yağmurlu hava şartları veya yüklü bulutların olduğu durumlarda ani patlatmalara neden olabilmekte ve ölümcül kazalara davetiye çıkarabilmektedir. Hatta, patlatma işlemini yapan ateşçinin vücudunun elektrik yüklü olması bile çoğu zaman iş güvenliğini tehlikeye altına sokabilmektedir. Gecikmeli elektrikli kapsüller, adi ve gecikmesiz kapsüllere oranla daha az ses ve sarsıntı oluşumu yaratmaktadır. Fakat çok sıralı delme işlemlerinde yinede yeterli miktarda gecikme verilememekte ve sonuçta adi kapsülün etkisine benzer ses ve sarsıntı oluşa bilmektedir (Deniz, 2011).

Ülkemizde son yıllarda elektrikli kapsüllerin yerine elektriksiz (Non-el) kapsüller madencilik alanlarında kullanılsa da taş ocaklarında bu konuda yeterli bilgiye sahip teknik elemanların olmaması nedeniyle yaygın olarak kullanılmamaktadırlar. Oysa, elektrikli kapsüllere kıyasla elektriksiz kapsüller çok daha emniyetli, minimum gürültü, minimum sarsıntı ve minimum taş fırlaması ile çok daha küçük parça boyutlu patlamış ürün elde edilmesinin yanında aslında çok daha ucuzdur. Elektriksiz kapsüllerin avantajlarının başında elektriksiz olmaları nedeniyle emniyetli olmalarıdır. Ayrıca, kablo kesme ve kabloların birbirine

bağlanması gibi işlemler olmadığından çok kısa sürede bağlanmaları nedeniyle ile çalışanların el ve bel ağrılarını oluşumunu azaltmaktadır. Elektriksiz (Non-el) kapsüller; yaklaşık 2.100 m/sn hızla ilerler ve tüpün içerisindeki şoku ileten malzeme patlayıcı değildirler. Dolayısıyla, bu özelliklerine bağlı olarak hava şoku ve gürültü gibi çevresel sorunlar yaratmazlar. Ayrıca, elektriksiz kapsüller sudan etkilenmediği için deliklerin doldurulmasından sonra, dolu delikler üzerine fiskeye ile su sıkılmakta ve bu sayede patlatma sonucu minimum toz oluşumu sağlanmaktadır. Bu sayede, çevreye minimum zarar verilmiş olmaktadır (Deniz, 2009; Deniz, 2011).

Elektronik ateşleme sisteminin yapısı, diğer elektrikli ve elektriksiz kapsüllerin yapısından farklı olarak sırasıyla; enerji besleme ve aktivasyon sistemi ile birlikte kablolu bir ateşleme enerjisi depolama aygıtı ve bir programlanabilir elektronik zamanlayıcı içeren elektrikli ateşleyiciden oluşmaktadır (Şekil 11). Elektronik ateşleme sisteminin, yüksek hassasiyet derecesine sahip olması, geniş bir gecikme yelpazesi nedeniyle gelişmiş ve verimli bir patlatma; hava şoku ve yer sarsıntısının azaltılmış olması ve elektrikli ortamlarda güvenli kullanım ve gecikme başına kapsül miktarını sınırlamanın olmaması gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Bu kadar çok avantajların olduğu elektronik kapsüllerin, yüksek kapsül maliyeti ve kullanıcılar için yoğun bir eğitim ihtiyacı gibi bazı dezavantajlarda söz konusudur (Cardu ve ark., 2013; Miller ve Martin, 2007).



Şekil 11. Üç farklı kapsülün yapısal farklılıkları

2 ELEKTRONİK ATEŞLEME SİSTEMİ

Dünyadaki gelişmiş ülkelerde 1980'li yıllardan itibaren kullanımı devam eden ve son birkaç yıldır ülkemizde de uygulaması olan Elektronik Kapsüller mükemmel zamanlama verilebilen özel kapsüllerdir (Şekil 12). Özel bir patlatıcı mekanizmasıyla ateşlenebilen elektronik kapsüller, en uygun güvenlik ve gecikme zaman aralığı sağlamaktadır. Elektronik kapsüller, ± 0.1 ms gibi çok düşük bir gecikme hassasiyetine sahiptir ve genellikle 1 ms aralıklı artışlarla programlanabilir.

Yapı olarak bir kapsül içerisine uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen bir elektronik devre yerleştirilerek şarj sonrasında bu iş için üretilmiş bir bilgisayar yardımıyla tüm kapsüllere istenilen hassasiyette gecikme verilebilmesi şeklinde geliştirilmiştir. Başka bir cihaz ile müdahale şansı bulunmayan ve patlatılma imkânı olmayan bir yöntemdir. Aynı patlatma grubunda 40000 ms ye kadar gecikme verilebilmektedir. Sistem önce test olarak cihaz üzerinde denenmekte, yanlış bir uygulama tespit edilirse tekrardan gecikmeler düzenlenebilmektedir. Elektronik kapsüllerin gecikme aralığının sahada mühendis tarafından belirlenmesi, patlatma sonucu çıkan enerjinin kontrolünü planlayan mühendiste olmasını sağlamakta ve emniyeti artırmaktadır. Bütün bu avantajlarına rağmen, diğer ateşleme sistemlerine nazaran 5-6 kat daha pahalı olduğu için kullanımı yaygın değildir (Deniz, 2016b).



Şekil 12. Elektronik ateşleme sistemi

Elektronik ateşleme sistemlerinin (ateşçi eğitimi ve ateşleme sisteminin tüm elamanları açısından) geleneksel ateşleme sistemlerine kıyasla daha pahalı olmasına rağmen, elektronik gecikme opsiyonu sayesinde maliyet dezavantajını bastırmaktadır.

Buna ek olarak, hassas ve çok değişkenli gecikme organizasyonu ile patlama kaynaklı zemin titreşimlerinin daha az olması, istikrarlı şev ve basamak korumasını artırarak çok daha güvenli ocak kademe yapılarını oluşturmaktadır. Bu olumlu sonuç daha sonraki patlamalar için yeni deliklerin daha doğru delinmesine de izin vermektedir. Elektronik kapsüllerin “hassas” üretimi ile patlama dizayn esnekliğini ve patlayıcı tüketimini azaltması ile patlatma tasarımını etkilemeden patlatma optimizasyonu yapılabilmektedir (Sharma, 2009).

Elektronik ateşleme sisteminin avantajları aşağıda sıralanmıştır (Yurttaş, ve ark., 2015; Deniz, 2016b);

- Yüzye de patlayan herhangi bir eleman (yüze y gecikme kapsülü ve/veya infilaklı fitil) olmadığı için hava şoku problemleri ve hava şoku kaynaklı şikâyetler minimize edilmektedir.
- Uzaktan kumanda ile 2 km uzaklıktan patlatma yapılabilmektedir. Bu da ateşleyicinin sahayı egemen bir noktadan görerek ateşleme yapmasına imkân vermektedir.
- Kapsüllerin arızalı olup olmadığı önceden test edilerek anlaşılabilir. Bu işlemi Barkod okuyucusu (Scanner) ile yapmak mümkün olabilmektedir. Bu sayede temel kazılarında, bina yıkımlarında atım kesmesi ve/veya patlamayan kapsüller nedeniyle oluşacak riskler ortadan kalkmaktadır.
- 0-40000 ms aralığın da, 1 ms aralıklar ile gecikmeler verilebilmektedir. Böylece birim zamanda açığa çıkacak enerjinin kontrolü planlayıcıda olacaktır ve sarsıntı problemleri ortadan kaldırılacaktır.
- Fazla sayıda gecikme ile daha az sayıda ve büyük hacimli atımlar yapılarak proje

kısa sürede bitirilebilecek, şikâyetler minimize edilecektir.

- Elektronik kapsüller dış elektriksel tehlikelere karşı emniyetli şekilde tasarlanmıştır. Yüksek akım gelmesi halinde kapsülün ekstra dirençleri eriyerek devreyi kesmektedir. Akım patlayıcı olan kısmına geçmemektedir.
- Elektronik kapsüllerin gecikme miktarındaki sapma payı sifıra yakın olduğu için verilen gerçek gecikme değerlerinde kapsüller patlamaktadır. Dolayısı ile aynı anda detonasyon (ani yanma) olmayacak ve titreşimler doğal olarak düşecektir.

2.1 Dünya’da Elektronik Patlatma Uygulaması

Elektronik kapsüllerin ticari olarak uygulaması 1990’ların sonunda başlamış ve günümüze kadar çok yaygın bir şekilde kullanıla gelmiştir. Özellikle, açık ocak işletmelerinde başlayan elektronik patlatma uygulamaları çevresel açıdan kritik önemi olan bölgelerde ve projelerde çok daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Deacon ve arkadaşları (1997) piroteknik gecikmeli ateşleyiciler ile gecikme başına 20-46 kg/delik patlayıcı madde ve elektronik gecikmeli ateşleyici ile 16-20 kg/delik patlayıcı kullanmışlar 130 m ile 180 m’lik mesafelerden ölçü alarak kıyaslama yapmışlar ve maksimum parçacık hızında (ppv) %27’lik düşüş elde etmişlerdir. Bartley ve arkadaşları (1998 ve 2000) ise gecikme başına 60 kg/delik patlayıcı madde kullanarak 400 ile 822 m’lik mesafelerden ölçü alınmak üzere elektronik patlatma uygulaması yapmıştır. Elde edilen verilerde bakıldığında bazı olumsuz durumlar olmakla birlikte maksimum parçacık hızında (ppv) %51’e kadar düşüşler ve titreşim hızlarında %30’a kadar artışlar elde etmişlerdir. Carter (2002) elektronik ve elektriksiz yaptığı bir çalışmada da titreşim hızlarındaki (frekans) değerlerde %95’e varan artışlar elde edildiğini ve özellikle patlatma sahasına yakın yapılara zarar vermesinin engellediğini belirtmiştir. Chavez ve arkadaşları (2003) 12 ms’lik gecikme ile hem piroteknik gecikmeli hem de elektronik gecikmeli ateşleme

sistemlerinin kıyasını yapmışlar ve maksimum parçacık hızı (ppv) açısından %21’lik bir düşüş elde edildiğini bildirmişlerdir. McFerren ve arkadaşları (2004) gecikme başına 230 kg/delik patlayıcı miktarı ile elektriksiz ve elektronik ateşleme sistemlerini karşılaştırmışlar ve maksimum parçacık hızında (ppv) %84’lük düşüş elde etmişlerdir.

Birkaç araştırmacıda hava şoku değerleri açısından elektronik ateşleme sisteminin etkisi üzerine çalışma yapmıştır. Baka (2002) hava şoku üzerine yaptığı çalışmada piroteknik gecikmeli (127 dB) ateşleyici yerine elektronik gecikmeli ateşleyici (108 dB) ile yapılan patlatmada %15 daha az hava şoku elde ettiğini belirtmiştir. Brent ve arkadaşlarının (2003) çevresel problemlerin azaltılması açısından %37.5’luk bir başarı elde ettiklerini belirtmişlerdir. McFerren ve arkadaşları (2004) ise yaptıkları araştırma sonucunda elektronik gecikmeli ateşleyici kullanarak hava şoku değerinde %3’lük bir azalma elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Elektronik ateşleme sitemleri üzerine bir diğer inceleme alanı da patlama sonucu elde edilen ürün inceliğinin ve dolayısıyla malzeme yükleme işleminde ve cevher hazırlama tesisindeki kapasite artışının kıyaslaması üzerinedir. Bartley (2001) elektronik gecikmeli kapsüller kullanılarak yapılan patlatma sonucu elde edilen ürünün kazı-yükleme işinde %25’lik bir zaman tasarrufu elde edildiğini ve patlatılmış ürünün tesisteki boyut küçültme işlemlerinde enerji tüketiminin %6 ile %10 arasında azalma sağlandığını belirtmişlerdir. McKinstry ve arkadaşları (2002) Nevada (USA)’da bir altın madeninde elektronik patlatma uygulamasında tesisin %11’lik verim artışı elde ettiğini vurgulamışlardır. Banda (2005) Güney Afrika’da bir bakır madeninde yaptığı elektronik patlatma uygulaması ile daha ince patlatılmış ürün elde edilmesi ile yükleme verimliliğinin arttığını, tesisteki kırıcı bakım masraflarının ve ton başına genel maliyetlerin düştüğünü belirtmiştir. Everett ve Eloranta (2006) bir demir cevheri madeninde piroteknik gecikmeli ve elektronik gecikmeli ateşleme sistemlerini kullanarak patlatma yapmışlar,

ürünün fotoğraflarını çekerek bir bilgisayar programı yardımıyla boyut dağılımlarını belirlemişler ve elektronik gecikmeli ateşleme sistemi ile piroteknik ateşleme sistemine göre çok daha ince ürün elde edildiğini belirtmişlerdir. Hay ve Aminossati (2015) Avustralya'da bir açık kömür ocağında piroteknik ve elektronik gecikme ile elde edilen ürün boyut dağılım inceliği ve dolayısıyla malzeme yükleme ve cevher hazırlama tesisindeki kapasite artışının etkilerini belirlemek üzere bir çalışma yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında %4.7-%14.7 arasında kapasitenin arttığı belirtilmiştir.

Elektronik patlatmanın yer altı madencilik faaliyetlerinde uygulanması ise ilk önce madencilik dışındaki karayolu tünel açma işlemlerinde başlamış, baraj derivasyon tüneli ve madencilik alanlarına doğru kullanımı yaygınlaşmıştır.

Svård (1993) piroteknik gecikmeli ve elektronik gecikmeli ateşleme sistemlerinin kıyaslaması için yaptığı elektronik patlatma uygulamasında gecikme başına 3 kg/delik miktarı ile maksimum parçacık hızında (ppv) %50'ye varan azalmalar elde etmiştir. Thomasson (2000) ise gecikme başına 400 g/delik miktarı ile elektronik patlatma sonucu maksimum parçacık hızında (ppv) %42'lik azalma elde ettiğini bildirmiştir. Tucker ve Kay (2000) Avustralya'da sülfürlü cevherlerin olduğu bir yer altı madeninde yaptıkları patlatmalı üretimde elektronik gecikmeli kapsüller kullanarak hem yer sarsıntısı ve hava şoku değerlerinde önemli oranda azalama olduğunu hem de üretim masrafları ve verimlilik açısından önemli kazançlar elde edildiğini belirtmişlerdir. Möhle (2000) Güney Afrikada yer altı elmas madenciliğinde elektronik gecikmeli ateşleme sistemi ile hem yer sarsıntısı ve hava şok değerlerinde oldukça uygun değerler elde edilebildiğini hem de elektriksiz kapsüllerle 18 günde açılan yer altı boşluk miktarının elektronik kapsüllerle 7 günde açılacağını belirtmiştir. Bleuzen ve arkadaşları (2005) bir tünel patlatma işleminde elektronik ateşleme sistemi ile aşırı tavan sökülmelerinde piroteknik ateşleme sistemlerine oranla %30'a varan

azalma elde edildiğini belirtmişlerdir. Wetherelt ve Adderly (2007) bir tünel içerisinde gecikme başına 1.6 kg/delik patlayıcı miktarları ile elektriksiz kapsüllere kıyasla elektronik kapsüllerin kullanımında maksimum parçacık hızında (ppv) %40 ile %292'lik bir azalma elde etmişlerdir.

2.2 Türkiye'de Elektronik Patlatma Uygulaması

Her ne kadar Dünyada elektronik patlatma uygulaması 90'lı yılların sonunda uygulamaya geçse de, ülkemizde 2010 yılından sonra gündeme gelmiş ve ilk kullanımı 2013 yılında başlanarak günümüze kadar ORİCA firması tarafından bazı projelerde gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar elektronik ateşleme sistemlerinin birçok kullanım avantajları olmakla birlikte birim patlatma maliyetleri açısından oldukça pahalı olması sebebiyle geliştirilmelerinden yaklaşık 25 yıl sonrası ülkemizde sadece önemli projelerde kullanımı söz konusu olmuştur.

Yurttaş ve arkadaşları (2015) İstanbul-Kartal Metro tünel inşaatı süresinde elektriksiz ve elektronik kapsül uygulaması yapmışlar ve delik uzunluğu, delikler arası mesafe, dilim kalınlığı ve birim delgi miktarının arttığından bahsetmişlerdir. Ayrıca, yer sarsıntısı ve hava şoku değerlerinde de düşüşler elde edildiği ve maksimum parçacık hızlarında %50 ile %70'e varan düşüşlerden bahsetmişlerdir.

Deniz (2016b) Çorum Belediyesine ait taş ocağın'da 2015 yılında patlatma kaynaklı çevresel etkileri belirlemek için yapmış olduğu KİT (Kamu İktisadi Kuruluş) projesi esnasında 4 adet elektronik patlatma uygulaması yapmış ve yer sarsıntısı ve özellikle hava şoku değerlerinde oldukça önemli avantajlar sağladığını belirtmiştir.

Deniz (2017) halen devam etmekte olan Amasya Belediyesi Ferhat tüneli inşaat projesinde, 2016 yılında sarsıntı ve hava şoku değerleri açısından elektronik patlatma uygulaması yapmıştır. Tünelin şehir merkezinde olması sebebiyle hem yerleşim yerlerine hem de sit alanı olarak değerlendirilen kaya mezarlarına

patlatmadan kaynaklı olabilecek olumsuz sonuçları doğurmaması için elektronik kapsüller ile 2 adet deneme patlatması yapılmış ve elektriksiz kapsüllere kıyasla oldukça olumlu sonuçlar alınmıştır.

3. ELEKTRONİK ATEŞLEME SİSTEMİ UYGULAMASI

Bu çalışmada, elektronik patlatma uygulama örneği ORİCA firması tarafından Unitronic 600TM adıyla yerüstü patlatmaları için üretilen (yeraltında da başarıyla uygulanabilen) elektronik kapsüllerdir. Ateşleme sistemi; $\pm\%0.03$ sapmayla 0 ms'den 10.000 ms'ye kadar 1 ms farkla gecikme verilebilen kapsül başlıkları ile bunları okuyacak Tarayıcı (Scanner) ve ateşleyecek yerel ve kablosuz Menyeto'lar dan (Blastbox) oluşmaktadır (Yurtaş ve ark., 2015; Deniz, 2016b).

Elektronik kapsüllerin gecikme aralığının, kayacın özelliğine göre belirlenebilmesi ve sahada verilebilme özelliği, patlatma sonucu çıkacak enerji kontrolünün planlayıcıda olmasını sağlamaktadır. Şekil 13 ve Şekil 14'de elektronik ateşleme ile açık ocak patlatmaların aşamaları gösterilmiştir (Deniz, 2016b).

Şekil 15'de ise Amasya Ferhat tüneline elektronik ateşleme sisteminin uygulaması gösterilmektedir (Deniz, 2017).

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu inceleme yazısında, madencilik ve taş ocaklarında kırmataş üretimi için hemen hemen hepsinde zorunlu olarak patlatmalı kazı yamak gerekmektedir. Bu nedenle, patlatma işleminde uygulanan ateşleme sistemlerinin tarihsel gelişimi ve özellikle son yıllarda önemi artan elektronik ateşleme sistemi detaylı olarak incelenmiştir.

Elektronik ateşleme sistemlerinin her ne kadar günümüzde yüksek maliyet ve özel yetiştirilmiş mühendis ihtiyacı istemesi gibi dezavantajına rağmen, daha büyük frekans değerlerini üretmesi; düşük yer sarsıntısı ve hava şoku değerleri vermesi; parçalanmanın çok daha iyi olması ve blok üretiminin düşmesi ile tesis kırma maliyetlerinde

düşüklük sağlaması; çok fazla (devasa büyüklükte) miktarlardaki delik sayısı ve patlayıcı miktarları ile patlatma imkânı vermesi; sonraki patlatma aşamalarında delik delinecek bölgede daha düzgün ve sağlam yapının oluşmasını sağlanması gibi avantajlarının olması sebebiyle dünyada olduğu gibi yakın gelecekte de ülkemizdeki kullanımının da artacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma, kırmataş sektöründe çalışan maden mühendislerine ülkemizde çok yaygın kullanımı olmayan elektronik ateşleme sistemlerini tanınması ve özellikle yerleşim yerlerinde yakın bulunan ocaklardaki çevre halkının şikâyetlerini bertaraf edebilmeleri için alternatif bir yol sunma amacını hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

- Babu, A.S., Mishra, K.K., Kshirsagar, P.D., Shekar, H., Rasane, V.S. 2013. Programmable electronic delay device for detonator, *Defence Science Journal*, 63(3), 305-307.
- Baka A.J. 2002. The implementation of the smartdet universal system at Damang gold mine, Ghana. *Marcus Evans Conference, New Paradigm Shift in Drilling and Blasting*, Johannesburg, South Africa.
- Banda, R. 2005. Electronic delay detonators- A unique solution to pertinent mining problems, *The Third Southern African Conference on Base Metals*, 315-320.
- Bartley, D.A., Trousselle, R. 1998. Daveytronic digital detonator testing in a vibration sensitive environment, *ISEE Int. Conference on Explosives and Blasting Technique*, 247-261, Louisiana, USA.
- Bartley, D.A., Winfield, B., McClure, R., Trousselle, R. 2000. Electronic detonator technology: Field application and safety approach, *EFEE World Conference on Explosives and Blasting*, 149-158, Munich, Germany.
- Bartley, D.A. 2001. Field applications and quantification of electronic detonator technology. *ISEE Int. Conference on Explosives and Blasting Technique*, 1-19, Florida, USA.
- Bleuzen, Y., Monath, F., Quarema, M., Joao, M. 2005. Tunnel blasting in a sensitive environment using electronic detonators. *The Journal of Explosives Engineering*, sep/oct, 6-14.
- Bratun, J., Kortnik, J. 2011. Evaluation of the need for electronic detonator systems for blasting operations in Slovenian mining industry, *4th Balkan Mining Congress*, 407-416, Slovenia.
- Brent, G.F., Edmondson, M., Goswami T., 2003 High performance throw blasting with i-kon™ electronic detonators in an environmentally sensitive area at Stratford Coal, NSW, Australia.

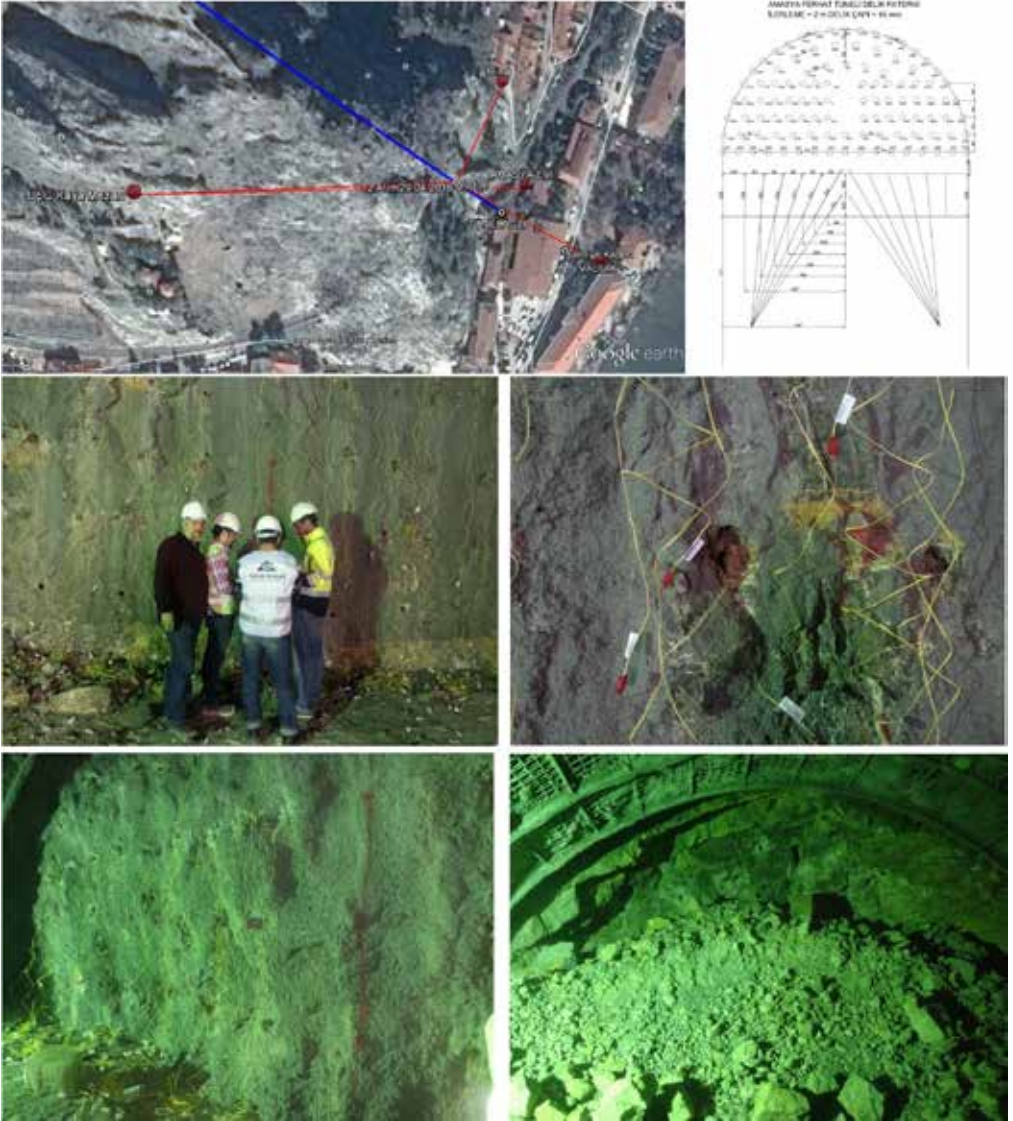
- 5th Large Open Pit Mining Conference, p 12, Kalgoorlie, Western Australia.
- Carter, R.A. 2002. Plugging in to digital detonation: electronic sequencing and initiation systems can improve blasting performance and reduce neighbor complaints. *Rock Products*, 28-30.
- Chavez, R., Chantry, R. 2003. Actual benefits from new technologies related to constant timing with electronic detonators and uniform energy control, *EFEE World Conference on Explosives and Blasting*, 303-311, Prague, Czech Republic.
- Cardu, M., Giraudi, A., Oresto, P., 2013. A review of the benefits of electronic detonators, *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 66(3), 375-382.
- Decon, C., Duniam, P., Jones, M. 1997. Improved blast control through the use of programmable delay detonators. *ISEE Int. Conference on Explosives & Blasting Technique*, 55-68, Las Vegas, USA.
- Deniz, V. 2009. Taş Ocaklarında Uygulanan Eski Yanlış Alışkanlıklara Yeni Bakışlar, 5. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 329-349, İstanbul.
- Deniz, V. 2011. Kırmataş Ocaklarında Ergonomik Uygulamaları. 6. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 157-172, Sivas.
- Deniz, V., Deniz, O.T. 2015a. Çorum çimento taş ocağında yapılan patlatmaların çevresel etkiler açısından değerlendirilmesi, 5. *Madencilik ve Sempozyumu*, 144-158, Antalya.
- Deniz, V., Deniz, O.T. 2015b. Çorum Belediyesinin taş ocağında patlatma kaynaklı titreşimlerin yönsel açıdan değerlendirilmesi, 5. *Madencilik ve Sempozyumu*, 159-174, Antalya.
- Deniz, V. 2016a. Votorantim Çorum Çimento Fabrikasına Ait Taş Ocağında Patlatmadan Kaynaklı Yer Sarsıntı Ölçümleri İle Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi, *Hittit Üniversitesi BAP Üniversite-Sektör Projesi*, (devam ediyor), Çorum.
- Deniz, V. 2016b. Çorum Belediyesi ve Özel Sektöre Ait Taş Ocaklarında Çevreye Duyarlı Patlatma Yöntemlerinin Araştırılması ve Verimlilik Analizleri Açısından Değerlendirilmesi, *Çorum Belediyesi "Çorum İçin Projem Var" KİT Projesi*, Şubat, Çorum.
- Deniz, V. 2017. Amasya Ferhat Tüneli İnşaatında Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkilerin Araştırılması, *(Amasya Belediyesi-Özce İnşaat-Zorgün İnşaat) Döner Sermaye Projesi*, (devam ediyor), Çorum.
- Everett, W., Eloranta, J. 2006. Digital delay blasting at United Taconite LLC, *ISEE Int. Conference on Explosives & Blasting Technique*, Dallas, USA. 345-356.
- Hay, E., Aminossadati, S.M. 2015. Monetary savings opportunities of electronic blast initiation systems, *Proceedings of 2015 Coal Operators' Conference*, The University of Wollongong, 321-329, New South Wales, Australia.
- Jadhav, P.Y., Patil, R.A., 2016. Mechanism of electronic delay device for detonator, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5: 8640-8651.
- Kumar, V., Karra, V., Singh, A., Babu, B., Kumar, A. 2015. Programmable electronic delay detonator, *International Journal of Industrial Electronics & Electrical Engineering*, 3:138-145.
- McFerren, W., Moodley, P. 2004. Electronic detonator success: an african story, *ISEE Int. Conf. on Explosives & Blasting Technique*, 1-12, Las Vegas, USA.
- McKinstry, R., Floyd, J., Bartley, D., 2002. Electronic detonator performance evaluation *Journal of Explosives Engineering* 19(3): 12-14.
- Miller, D., Martin, D. 2007. A review of the benefits being delivered using electronic delay detonators in the quarry industry, *QUARRYING2007, The Institute of Quarrying Australia 50th National Conference*, Melbourne, Australia.
- Möhle, H. 2000. Improving the trough opening process at Premier Mine utilizing electronic delay detonators, *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, July/August 249-258.
- Sharma, P.D. 2009. Electronic detonators: Results in substantial techno-economic benefits for large mining operations. *Mining Engineers' Journal*, India (February).
- Svärd, J. 1993. Possibilities with accurate delay time. *FRAGBLAST Rock Fragmentation by Blasting*, Vol.1: 71-78.
- Thomasson, C. 2000. Le tir aux detonateurs électroniques dans le tunnel de foix, *Tunnels et Ouvrages Souterrains*, Nov/Dec, 359-361.
- Tucker, G.B., Kay, G.B. 2000. The use of electronic blasting systems at MIM George Fisher mine, *Explosive & Blasting Technique*, Holmberg (Ed.), A.A. Balkema, 117-122, Rotterdam, Netherlands.
- White, T.E. 1999. Tunnel blasting-recent developments, *International Mining & Minerals*, 2 (17), 137-142.
- Wetherelt, A., Adderly, G.A. 2007. Comparative study of ppv analysis of tunnel rounds using both non electric and programmable electronic detonation. *ISEE Int. Conference on Explosives & Blasting Technique*, p. 10, Tennessee, USA.
- Yurttas, M., Özkul, O., Bayındır O., Atlıhan U. 2015. Kartal Meeting Point projesinde uygulanan patlatmalı temel kazısında elektronik kapsül kullanımının hava şoku, sarsıntı ve verimlilik açısından incelenmesi, 8. *Delme-Patlatma Sempozyumu*, 187-196, İstanbul.



Şekil 13. Elektronik ateşleme sistemi esnasında deliklerin hazırlanması: (1): elektronik kapsül görünümü, (2): elektronik kapsülün dinamite yerleştirilmesi, (3): elektronik kapsülün dinamite yerleştirilmesi, (4): elektronik kapsülün dinamite yerleştirilme son hali, (5):dinamitin patlatma deliğine yerleştirilmesi, (6) elektronik kapsülün deliğe yerleştirilmesinin son hali, (7): sıkılama boyunun ayarlama çubuğu, (8): ANFO'nun doldurulması, (9): sıkılama boyunun ayarlanması, (10): elektronik kapsüllerin hat kablosunda bağlanması



Şekil 14. Elektronik ateşleme sistemi esnasında deliklerin hazırlanması: (11): elektronik kapsüllerin hatlar boyunca bağlanmış hali, (12): elektronik kapsüllerin gecikme aralıklarının belirlenmesi, (13): elektronik kapsüllerin lazerli el tarayıcı (Scanner) ile okunması, (14): elektronik kapsülün üzerindeki barkodun lazerli el tarayıcı (Scanner) ile okunma görüntüsü, (15): el tarayıcısının elektronik manyeto'ya aktarılması, (16) uzak noktadaki kablosuz manyeto, (17): uzak noktadaki kablosuz manyeto'ya son veri kontrol edilmesi (18): Elektronik ateşleme sonrası patlatma görüntüsü



Şekil 15. Amasya Ferhat tüneli patlatma uygulamasında elektronik kapsül kullanımı

Hammadde Hazırlama ve Teknolojisi
(Processing and Technology of Raw Material)

Dry Grinding Kinetics of Gölbaşı (Ankara) Andesite in Ball Mill *Gölbaşı (Ankara) Andezitinin Bilyalı Değirmende Kuru Öğütme Kinetiği*

T. Ağacayak, A. Aras
Selçuk University, Mining Engineering Department, Konya.

ÖZET Andezit numunesinin kuru öğütme özelliklerini belirlemek için çelik bilyalı değirmen kullanılarak bir kinetik çalışma yapılmıştır. S_i (özellik kırılma hızı) değerleri, -850+600 μm , -600+425 μm ve -425+300 μm tek boyutlu besleme fraksiyonları kullanılarak belirlenmiştir. Andezit numunesi için tek boyutlu besleme fraksiyonlarının kuru öğütülmesinin birinci dereceden kırılma kanununa göre gerçekleştiği görülmektedir. Andezit S_i , a_T ve α değerlerine göre kırılma parametreleri belirlenmiştir.

ABSTRACT Kinetic study using a laboratory steel ball mill was carried out to determine dry grinding properties of andesite sample. The S_i (specific rate of breakage) values were determined by using the single sized feed fractions of -850+600 μm , -600+425 μm and -425+300 μm . Dry grinding of single size intervals showed that andesite followed the first-order breakage law. The breakage parameters of andesite in terms of the S_i , a_T and α values were determined.

1 INTRODUCTION

Andesite is a fine-grained volcanic rock that has a silica content of 53–63%. It has a porphyritic texture and is composed of plagioclase and pyroxene microliths (clinopyroxene and orthopyroxene), feldspar, pyroxene and biotite phenocrysts in a glass matrix, and magnetite minerals in small amounts. Depending on its dark colour mineral components, the colour of andesite varies from light grey to grey, dark grey, black and reddish–brownish–pink tones (Koca et al., 2001, Sariisik et al., 2011, Aydar et al., 2003).

Andesite is used in civil engineering and architectural procedures such as production

of pavements, kerb-stones, staves, coping, windowsills, jambs, and friezes (Sariisik et al., 2011).

Andesite is also used in blended cement production as pozzolanic material. During cement production, use of additive materials that have pozzolanic property could effect the quality of concrete favorable (Terzibasoglu, 1995). Pozzolanic materials (siliceous or siliceous–aluminous material), which in itself have no binding property, but in ground form and the presence of moisture, chemically react with calcium hydroxide to form compounds possessing hydraulic binding properties (Terzibasoglu, 1995, Alp et al., 2004).

In this study, grinding properties of andesite sample that is one of the natural pozzolanic materials was studied.

In Eq. (3), $w_i(t)$ and $w_i(0)$ are the weight fraction of size i at time t and zero, respectively (Austin et al. 1984).

2 THEORY

A lot of studies related to breakage of the materials show that the rate of breakage of particles follows first-order breakage kinetics. Hence, the rate of breakage of size i is given in Eq. (1) (Austin and Luckie, 1972; Klimpel, 1997):

$$S_i w_i(t) W \tag{1}$$

where w_i is the weight fraction of material of size i , W is the total powder mass in the mill. S_i is the specific rate of breakage of size i . Thus, Eq. (1) becomes as follows:

$$d[w_i(t)W]/dt = -S_i w_i(t)W \tag{2}$$

Total mass, W , is constant and if S_i doesn't differ with time, then Eq. (2) will become as:

$$w_i(t) = w_i(0) \exp(-S_i t) \tag{3}$$

3 MATERIAL AND METHOD

3.1 Material

Andesite sample used in grinding experiments was obtained from Gölbaşı district of Ankara. The sample was crushed and prepared to $-850+600 \mu\text{m}$, $-600+425 \mu\text{m}$, and $-425+300 \mu\text{m}$ feed size fractions for the grinding experiments.

3.2 Method

A steel laboratory ball mill was used in grinding experiments. The properties of the ball mill used and grinding conditions are given in Table 1. The experiments were carried out using single sized feed fractions (Austin et al., 1984) and these fractions were batch ground for different time. A sample of approximately 45 g was taken from the ground material for screen analysis and breakage parameters of andesite sample was determined.

Table 1. Ball mill properties and grinding conditions.

Mill	Inner diameter, mm	200
	Length, mm	191
	Volume, cm^3	6000
	Critical speed, rpm	101.1
	Operational speed, rpm	76
Media (Balls)	Material	alloy steel
	Diameter, mm	25
	Number	92
	Specific gravity, g/cm^3	7.8
	Fractional ball filling	0.2
	Powder-ball loading ratio	0.5
	Fractional powder filling	0.04

4 RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Determination of specific rates of breakage

The S_i (specific rate of breakage) values of andesite sample in 850+600 μm , -600+425 μm and -425+300 μm fraction ground in steel ball mill for different time were given in Figure 1-3.

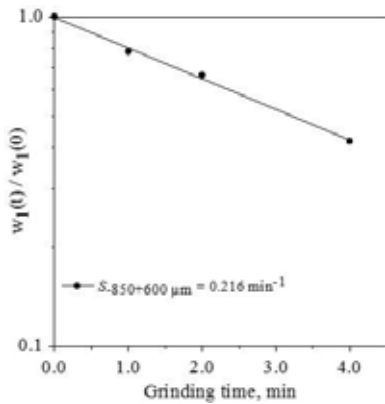


Figure 1. First-order plot for -850+600 μm feed size of andesite sample.

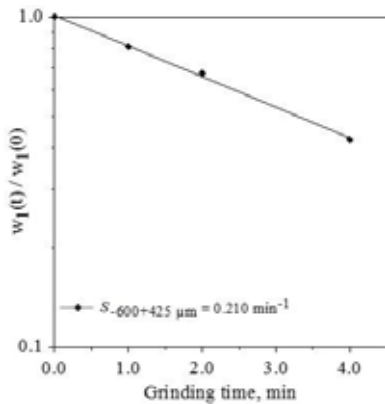


Figure 2. First-order plot for -600+425 μm feed size of andesite sample.

As seen from Figure 1-3, dry grinding of andesite sample presents the first-order breakage form. However, it was determined that as the feed size became coarser, S_i values increased. That is, while the highest S_i value obtained was 0.216 min^{-1} for -850+600 μm and the lowest S_i value was 0.196 min^{-1} for -425+300 μm feed.

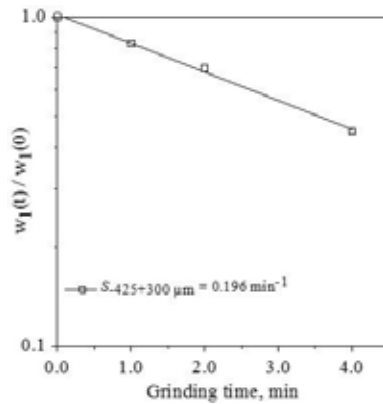


Figure 3. First-order plot for -425+300 μm feed size of andesite sample.

In Figure 4, variation of the specific rates of breakage (S_i) against feed sizes which is obtained from first-order plots in Figure 1-3 was shown. The values of S_i can be fitted to the Eq. (4):

$$S_i = a_T (x_i / x_0)^a \quad (4)$$

In Eq. (4), x_i is the upper limit of the size i , $x_0 = 1000 \mu\text{m}$, a_T and a are model parameters depend on grinding conditions and properties of material.

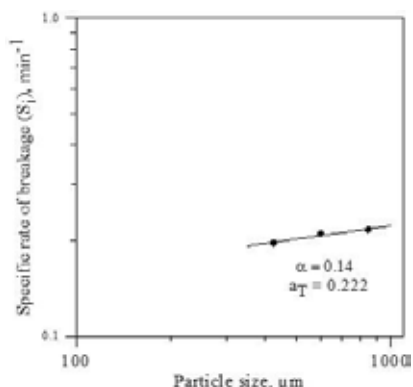


Figure 4. Relation of S_i values of andesite sample with particle size.

Using the experimental results obtained from this study, breakage parameters of andesite sample were compared to other materials (barite, calcite, colemanite, zeolite) under the similar experimental conditions. It was found that andesite sample was broken slower than these materials in terms of S_i , a_T and α values (Aras et al., 2008, Teke et al., 2002, Bozkurt and Ozgur, 2007, Ozkan et al., 2009). It could be considered that, this case occurred due to high silicate content and heterogeneous structure of rock (Bozkurt and Ozgur, 2007; Ipek et al., 2005).

4.2 Determination of particle size distribution

Particle size distribution of dry grinding of andesite sample at various times for $-425+300 \mu\text{m}$ feed size fraction was given in Figure 5. As seen, approximately 80% passing size of the material ground in the mill reached $150 \mu\text{m}$ at a grinding time of 16 min.

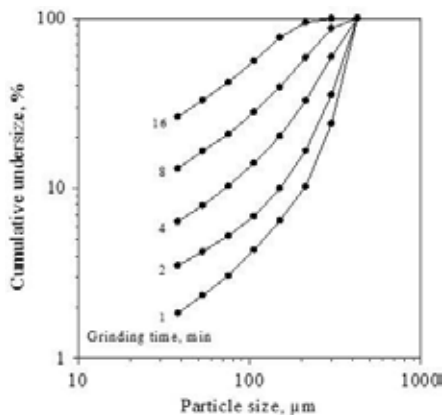


Figure 5. Product size distribution from dry grinding of $-425+300 \mu\text{m}$ andesite sample.

4 CONCLUSIONS

Dry grinding of single size intervals of andesite sample showed that this material suited to the first-order breakage law. When the top sizes fed to the steel ball mill increase, the specific rate of breakage (S_i) values increase as well, showing a more rapid breakage of the top sizes.

The characteristic breakage parameters of andesite sample obtained from experiments were $a_T = 0.222 \text{ min}^{-1}$ and $\alpha = 0.14$.

Breakage parameters of andesite sample were compared to other materials (barite, calcite, colemanite, zeolite) under the similar experimental conditions. It was specified that andesite sample was broken slower than these materials.

REFERENCES

- Alp, I, Devceci, H, Yılmaz, AO, Kesimal, A, Yılmaz, E, 2004. Taşhane (Terme) Andezitik Tüflerinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004. İzmir, Türkiye, p:48-55.
- Aras, A, Ozkan, A, Aydoğan, S, 2008. Kinetics of fine dry grinding of colemanite. *Proceedings of the 11. International Mineral Processing Symposium*, p: 57-62, Belek-Antalya, Turkey.
- Austin, LG, Klimpel, RR, Luckie, PT, 1984.

- Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling*, SME/AIME, New York.
- Austin, LG, Luckie, PT, 1972. Methods for Determination of Breakage Distribution Parameters. *Powder Technology*, 5, p:215-222.
- Aydar, E, Bayhan, H, Gourgaud A. The lamprophyres of Afyon stratovolcano, western anatolia, Turkey: description and genesis. *CR. Geosci* 2003;335:279–88.
- Bozkurt, V, Ozgur I, 2007. Dry grinding kinetics of colemanite. *Powder Technology*, 176, p:88–92.
- Ipek, H, Ucbas, Y, Yekeler, M, Hosten, C, 2005. Grinding of ceramic raw materials by a standard Bond mill: Quartz, kaolin and K-feldspar, *Transactions of Mineral Processing and Extractive Metallurgy Section C*, 114 p:213–218.
- Klimpel, RR, 1997. Introduction to the Principles of Size reduction of Particles by Mechanical Means, Instructional Module Series 41 p. Series Ed. R. Rajagopalan, *Particle Science Technology*, Florida, USA.
- Koca, MY, Yavuz AB, Kincal C, 2001. The usage of andesitic rocks as a coating purpose in Bergama (Izmir)–case study. Turkey III. In: *Marble symposium proceedings*, 99 p.
- Ozkan, A, Yekeler, M, Calkaya M, 2009. Kinetics of fine wet grinding of zeolite in a steel ball mill in comparison to dry grinding. *Int. J. Miner. Process.* 90, p:67–73.
- Sarişik, A, Sarişik, G, Senturk, A, 2011. Applications of Glaze And Decor On Dimensioned Andesites Used In Construction Sector. *Construction and Building Materials*, 25, p:3694–3702.
- Teke, E, Yekeler, M, Ulusoy, U. Canbazoglu, M, 2002. Kinetics of dry grinding of industrial minerals: Calcite and barite. *Int. J. Miner. Proc.*, 67, p: 29-42.
- Terzibasoglu, N, 1995. Andezitin Trash Çimento Üretiminde Kullanımı, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara p:1-6.

Bant Hızı/Kafa Devri Oranının Doğal Taşların Yüzey Özelliklerine Etkisi

The Effect of Belt Speed/Head Rotation Rates to the Surface Characteristics of Natural Stones

M. Ersoy, M. Y. Çelik

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Doğal Yapıtaşları Teknolojisi Programı, Afyonkarahisar

L. Yeşilkaya

Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisahar Doğal Taş Araştırma ve Uygulama Merkezi, Afyonkarahisar

G. Geçer

Maden Mühendisi, Serbest

ÖZET: Mermer ve doğal taşların üretim süreci, kesme, ebatlama ve yüzey işleme aşamalarından oluşur. Mermerin doğal güzelliğini gösterebilmesi için yapılan yüzey işleme işlemlerinden en önemlisi aşındırma ve parlatma işlemidir. Doğal taşın kolay parlatılabilmesi ve parlaklığını uzun süre koruyabilmesi, tercih edilmesinde önemli bir etkidir.

Bu çalışmada, oluşumları bakımından farklılık gösteren 5 farklı doğal taş türü, farklı bant hızı ve kafa devirlerinde aşındırma-parlatma işlemlerine tabi tutulmuş ve doğal taş yüzeylerinin aldığı parlaklık ve pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Sonra bant hızı ve kafa devri değerlerinin bölümü sonucu elde edilen etki oranı değeri ile parlaklık ve pürüzlülük arasındaki ilişkinin varlığı araştırılmıştır. Etki oranı ve parlaklık arasında Bursa emprador (BE) ve Bucak traverten (BT) örneklerinde 0.68 ve 0.84 gibi yüksek korelasyon (R^2) değerleri elde edilmiştir. Etki oranı pürüzlülük arasında ise Bursa emprador (BE), Cream bella (CB) ve Seyitgazi seashell (SS) numunelerinde 0.73, 0.76 ve 0.67 gibi korelasyon değerleri (R^2) hesaplanmıştır. Sonuç olarak optimum aşındırma parlatma parametrelerinin belirlenmesinde etki oranından da yararlanılabileceğine karar verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Doğal taş, Aşındırma ve parlatma, Yüzey pürüzlülüğü

ABSTRACT: The production process is consisting of cutting, sizing and surface treatments. The most important surface treatment operation for showing their natural beauty is abrasion and polishing operation. The easy and long life polishing of natural stone is an important factor to be preferred.

In this study, as formation 5 different natural stone types were polished in the status of various head rotations and belt speed and measured surface roughness and brightness. Then it was investigated the relationship between effect rate (obtained by dividing head rotation of belt speed) and surface roughness/brightness. High correlation (R^2) values with 0.68 and 0.84 were obtained between effect rate and brightness, at the samples BE (Bursa emprador) and BT (Bucak travertine). Also between effect rate and roughness, it was calculated the correlation values of 0.73, 0.76 and 0.67 at the samples BE (Bursa emprador), CB (Crema bella) and SS

(Seyitgazi seashell). As a result it was decided that the effect rate can be used to determine the polishing parameters.

Key words: Natural stone, Abrasion and polishing, Surface roughness

1. GİRİŞ

Mermer ve doğal taşların işlenmesi, blokların kesilerek levha ve plakalar üretilmesi sonra bunların ebatlanması ve en son yüzey işleme işlemlerinden geçirilerek kullanıma hazır hale getirilmesi şeklinde gerçekleşir. Uygulamada, eskitme, ateşle yakma, kumlama vb. gibi birçok yüzey işleme yöntemi bulunmasına rağmen, en çok uygulanan yöntem aşındırma-parlatma yöntemidir.

Kesme işlemi sonucunda, kesilen yüzeylerde değişik derinlik ve genişliklerde pürüzler oluşmaktadır. Çok değişik renk ve desenlerde oluşum gösteren mermerler, aşındırma işlemi sonucunda yüzey pürüzlülükleri ortadan kaldırılarak parlatma işlemine tabi tutuldukları takdirde doğal güzelliklerini yansıtabilmekte ve dekoratif özellik sergileyebilmektedir. Bu nedenle, mermer işlemeciliğinde son aşama olarak aşındırma-parlatma işlemleri uygulanmaktadır (Görgülü, 1998). Kolay ve iyi cila alan aynı zamanda da parlaklığını dış etkenlere karşı uzun süre koruyabilen mermer ve doğal taş türleri, piyasa tarafından tercih edilmekte, hem kolay hem de yüksek fiyata alıcı bulmaktadır.

Aşındırma-parlatma işlemi genellikle, büyük ebatlı levhalar için geniş bant silim makinalarında, daha küçük plakalar için ise darbant silim makinalarında yapılır. Makinaların çalışma prensibi, kafalara takılan abrasivlerin döndürülmesi ve bant üzerinde hareket eden malzemeye belli bir basınçla temas ettirilmesi şeklindedir. Ayrıca ortama, sürtünmeden dolayı oluşan sıcaklığın düşürülmesi ve aşınarak kopan kırıntıların ortamdaki uzaklaştırılması için, su beslenir. Silim makinaları tek kafalı olabildiği gibi birden fazla kafalı da olabilir. Kafa sayısı çok olan makinalarda, her bir kafaya kalımdan inceye farklı numaralı abrasivler takılarak çalışılır ve aşındırma işlemi kesintiye uğramadan devam ettirilir. Aşındırma işleminin en son aşaması

parlatmadır ve parlatma, son bir veya iki kafaya asitik cila taşları takılarak yapılır. Bu aşamada suyla tepkimeye giren asit, özellikle karbonat kökenli doğal taş yüzeyi üzerindeki ince pürüzleri de alır ve parlak bir görünüm kazanmasını sağlar. Aşındırma-parlatma işleminde, nihai parlaklık ya da pürüzlülük değerini etkileyen faktörler, malzeme özellikleri ve çalışma parametreleri olarak iki ana grupta incelenebilir (Ersoy vd. 2013; Ersoy vd. 2014).

Malzeme özellikleri, mermer veya doğal taşın kimyasal bileşimi, mineralojik-petrografik yapısı ve fiziksel-mekanik özellikleridir. Çalışma parametreleri de, beslenen su miktarı, kafa basıncı, kafa devri ve bant hızıdır.

Su, ortam sıcaklığının düşürülmesi ve oluşan kırıntıların temizlenmesine yöneliktir. Yapılan çalışmalar, yetersiz suyun malzeme üzerinde yanıklara neden olduğunu göstermiştir. Kafa basıncı ise, abrasivlerle malzeme arasındaki sürtünmenin sağlanması için uygulanır ve malzeme özelliklerine göre belirlenir. Malzemenin gevrek ve kalınlığının az (ince) olması durumunda, kırılma yaşanmaması amacıyla, düşük basınçlar uygulanır. Malzemenin basınç dayanımının yüksek olması halinde bile, yüksek kafa basıncı uygulanması, abrasiv tüketimini artıracaktır.

Kafa devri, abrasivlerin dönüş hızıdır ve abrasiv ile malzemenin temas miktarının bir ölçüsüdür. Bant hızı ise, abrasiv ile malzemenin temas süresinin bir ölçüsüdür. Başka bir ifade ile kafa devri, abrasivin birim alanın malzemenin birim alanına temas sayısının, bant hızı ise uygulama zamanının bir fonksiyonudur. Bu çalışmada kafa devri ve bant hızı değişimlerinin, malzeme yüzeyindeki nihai pürüzlülüklere etkisi araştırılmıştır.

Konuyla ilgili literatür incelendiğinde, Wright ve Rouse (1993) un nihai yüzeylerde taş parlaklığı ve ölçümü, Erdoğan (2000) in cilalı doğal taşların parlaklığının görüntü

analiz yöntemiyle ölçümü, Ersoy ve Köse (2001) nin mermerlerin fiziko-mekanik özellikleriyle parlatma kolaylığı arasındaki ilişkinin incelenmesi, Sarı ve Yavuz (2001) in mermer parlaklığının kantitatif tanımlaması, Huang, vd. (2004) nin yüzeyi işlenmiş parlak granitlerin mikro yapıları, Görgülü vd. (2008) in değişik mermer birimlerinin sürekli aşındırma ve cilalama aşamalarında pürüzlülük ve parlaklıkları, Karaca (2008) in kafa basıncı ve yüzey pürüzlülüğü ilişkisi, Ribeiro ve Paraguassú (2008) in silisli ebatlanmış levha yüzeylerinin pürüzlülüğü ile teknolojik özellikleri arasındaki ilişki, Oliveira vd. (2009) nin süs kayaçlarının kron parlatmasında epoxy-kuvars esaslı kompozitlerin kullanımı, Wang vd. (2009) un parlatmada aşındırma derinliğinin modellemesinin ve analizinin yapılması, Yavuz vd. (2011) nin doğal taş yapıtaşı fayansların yüzey kalitesi üzerine parlatma denemeleri ve Karaca (2012) nin mermerlerde yüzey pürüzlülüğü ile mekanik özellikler arasındaki ilişki hakkında araştırma yaptıkları görülmektedir.

Bu çalışma, kafa devri ve bant hızı değişimlerini birlikte ele alması bakımından, önceki çalışmalara göre farklılık arz etmekle birlikte, “etki oranı” olarak tanımlanan bir kavramı tartışmaya açması bakımından

önemlidir. Bu amaçla, farklı özelliklere sahip mermer ve doğal taş numunelerinin, aşındırma-parlatma parametrelerindeki değişim karşısındaki davranışı incelenmiştir. Tureks Mermer A.Ş. tarafından üretilip Bursa Emperador, Seyitgazi Seashell, Bucak Traverten, Muğla Beyaz ve Crema Bella ticari adlarıyla pazarlanan beş doğal taş türüne ait numuneler, kafa basıncı ve su miktarı sabit tutularak farklı kafa devri ve bant hızlarında aşındırma-parlatma işlemine tabi tutulmuşlardır. Aynı koşullar altında işlem gören numuneler üzerinde parlaklık ve pürüzlülük ölçümleri yapılarak bu parametreler arasındaki ilişkiler ortaya çıkarılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Çalışmada, kireçtaşı (limra), traverten, hakiki mermer ve ikisi kireçtaşı olmak üzere, oluşum şartları farklı gösteren 5 adet ocaktan alınmış doğal taş numuneleri kullanılmıştır (Şekil 1). Numunelerin tamamı karbonat kökenli olup üretildikleri bölgeleri gösteren harita Şekil 2 de ve özellikleri Çizelge 1 de verilmiştir.



Bursa emperador (BE)



Bucak traverten (BT)



Crema bella (CB)



Muğla beyaz (MB)



Seyitgazi Seashell (SS)

Şekil 1 Çalışmada kullanılan numuneler.



Şekil 2 Çalışma alanı yer bulduru haritası (Geçer 2011).

Çizelge 1 Çalışmada kullanılan numuneler ve özellikleri*

	Bursa Emperador (BE)	Bucak Traverten (BT)	Crema Bella (CB)	Muğla Beyaz (MB)	Seyitgazi Seashell (SS)
Tür	Kireçtaşı	Traverten	Kireçtaşı	Hakiki mermer	Kireçtaşı (Limra)
Üretim yeri	Bursa, Nilüfer, Kayapa Köyü	Burdur, Karamanlı İlçesi	Bursa, Nilüfer, Kayapa Köyü	Muğla, Kavaklıdere İlçesi	Eskişehir, Seyitgazi, Sancar Köyü
Boyutlar (mm)	305x305x20	305x305x20	305x305x20	305x305x20	305x305x20
Mohs Sertliği	4	3-3.5	3-3.5	3	3-3.5
Shore Sertliği	53.99	47.37	60.65	45.85	50.69
Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	2750	2530	2670	2710	2630
Basınç direnci (MPa)	177.02	58.58	127.41	82.84	128.82
Eğilme direnci (MPa)	14.90	10.58	17.80	14.10	15.79
Ortalama aşınma direnci (cm ³ /50cm ²)	1.8	3.3	3.40	4.08	2.43

* Üretici firma verileri

Aşındırma-parlatma deneylerinde, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunan ve endüstriyel çapta da üretim yapabilen TOYAMER marka, tam otomatik PLC (Programmable Logic Controller) darbant silim makinası kullanılmıştır. Makinanın çalışma parametreleri (bant hızı, kafa devri, kafa basıncı, su miktarı) manuel veya bilgisayar programı yardımıyla otomatik ayarlanabilmektedir. Makinada ikisi kalibre olmak üzere toplam 6 adet kafa bulunmaktadır. Makinanın bant genişliği 650 mm, abrasiv-cila genişliği (kafa çapı) 400 mm ve çalışma kalınlığı 8-60 mm dir (Şekil 3).

Aşındırma-parlatma deneylerinde sırasıyla, endüstriyel uygulamalarda da kullanılan, 80, 120, 180 ve 280 nolu magnezit, 320, 400, 600 ve 800 nolu sentetik

bağlı abrasivler ile 5-extra cila taşı ve keçe kullanılmıştır.

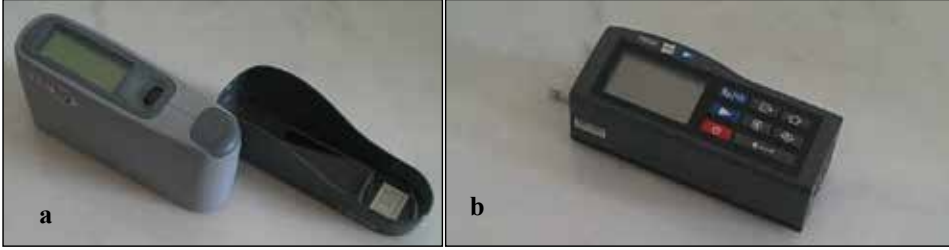


Şekil 3 Toyamer marka bantlı otomatik silim makinası

Aşındırma-parlatma işlemine tabi tutulan numunelerin parlaklık ölçümleri MC-HDG600II marka parlaklık ölçme cihazıyla, pürüzlülük ölçümleri ise, PHYNIX

MANUEL TR200 marka pürüzlülük ölçme cihazıyla yapılmıştır (Şekil 4). Parlaklık ve

pürüzlülük ölçme cihazlarına ait özellikler Çizelge 2 de verilmiştir.



Şekil 4 Parlaklık (a) ve pürüzlülük (b) ölçüm cihazları

Çizelge 2 Parlaklık ve pürüzlülük ölçüm cihazlarının özellikleri

Parlaklık Ölçüm Cihazı Özellikleri	
Ölçüm aralığı	0-200 unit
Ölçüm alanı	10*20 mm
Cihazın ekranı	LCD
Cihazın boyutları	101*40*65 mm
Pürüzlülük Ölçüm Cihazı Özellikleri	
Ölçüm standartları	ISO, DIN, JIS, ANSI
Ölçüm birimi	$\mu\text{m}/\mu\text{inch}$
Cihazın ekranı	LCD
Cihazın ekranında görülenler	Pürüzlülük parametreleri, profili, batarya durumunu, sensör tipin yönünü Ra, Rq : 0.01 μm ile 40 μm Rz, Rp, Rt, R3z: 0.02 μm ile 160 μm Sm, S: 2 μm ile 4000 μm
Ölçüm aralığı	
Tarama aralığı	0.25mm, 0.8 mm, 2.5 mm

2.2. Yöntem

Aşındırma-parlatma deneyleri, kalınlık kalibrasyonu, kaba silim, ince silim, cilalama (parlatma), ve temizleme işlemlerinden oluşmaktadır. Kalibrasyon, farklı ocaklardan alınan numunelerin tamamının önce, makina çalışma parametrelerine uygun, 30x30x2 cm boyutlarına ebatlanması sonra, kalınlığın ve yüzey pürüzlülüğünün eşitlenmesi amacıyla sadece kalibre kafalarından geçirilmesi şeklinde yapılmıştır.

İkinci aşamada, otomatik silim makinasına 80, 120, 180 ve 280 grain abrasivler takılmış, kafa basıncı 1.5 atm, makina bant hızı 0,5 m/dak ve kafa devri 1000 dev/dak olacak şekilde ayarlanmış ve numuneler beslenmiştir. İşleme tabi tutulan numuneler kurulanmış ve her bir numunenin köşe, kenar ve orta noktalarından olmak üzere 9 farklı noktasından 60⁰ açılı parlaklık ve ortalama pürüzlülük (Ra) ölçümleri yapılmıştır. Sonra

makinaya 320, 400, 600 ve 800 grain abrasivler takılarak işlem ve ölçümler tekrar edilmiştir. Son olarak, makinanın iki kafasına 5-extra cila taşı ve temizleme için keçe takılmış ve numunelerin en parlak durumundaki parlaklık ve pürüzlülük ölçümleri yinelenmiştir.

Üçüncü ve diğer aşamalarda ise, kafa devri 1.5 atm de sabit kalmak koşuluyla makinanın;

- bant hızı 0.5 m/dak, kafa devri 800 dev/dak,
- bant hızı 1.0 m/dak, kafa devri 800 dev/dak,
- bant hızı 1.0 m/dak, kafa devri 600 dev/dak,
- bant hızı 1.5 m/dak, kafa devri 800 dev/dak,
- bant hızı 1.5 m/dak, kafa devri 600 dev/dak,
- bant hızı 2.0 m/dak, kafa devri 600 dev/dak ve

• bant hızı 2.0 m/dak, kafa devri 400 dev/dak ya ayarlanarak aynı işlemler tekrarlanmış ve 5 tür numune için 8 farklı çalışma parametresi ile ilgili veriler elde edilmiştir. Hesaplama ve değerlendirme için verilerin aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır.

Ayrıca, gerek kafa devri gerekse bant hızının birlikte değerlendirilebilmesi

Çizelge 3 Aşındırma-parlatma deneyi sonuçları

No	Bant hızı (m/dak)	Kafa devri (dev/dak)	Etki oranı (mm/dev)	PaK	Pa280	Pa800	PaC	Pük	Pü280	Pü800	PüC
BE	.0510	0,5	1000	0,05	2,67	26,67	33,33	9,35	1,43	0,72	0,43
	.0508	0,5	800	0,06	3	28,33	40,33		0,88	0,29	0,24
	.1008	1	800	0,13	3,67	39,67	39,67		1,18	0,56	0,32
	.1006	1	600	0,17	2,33	38	39,67		1,07	0,23	0,42
	.1508	1,5	800	0,19	2	29,67	31,33		0,98	0,58	0,51
	.1506	1,5	600	0,25	3,33	21	32,67		1,66	0,85	1,09
	.2006	2	600	0,33	3	24	27		0,66	0,42	0,51
	.2004	2	400	0,5	2	22	24		1,58	1,01	1,81
BT	.0510	0,5	1000	0,05	3,33	18	37	9,32	1,38	0,68	0,47
	.0508	0,5	800	0,06	3,67	20	32,67		1,39	1	0,74
	.1008	1	800	0,13	3,33	17,33	35		0,92	0,83	0,16
	.1006	1	600	0,17	3	15,33	29,33		3,4	0,81	0,85
	.1508	1,5	800	0,19	3	9	29		0,94	0,63	0,49
	.1506	1,5	600	0,25	2	7	25		1,87	1,26	0,67
	.2006	2	600	0,33	3	9,67	29		2,14	0,8	0,49
	.2004	2	400	0,5	2	8	13		4,19	2,36	1,75
CB	.0510	0,5	1000	0,05	3,67	17,33	32	9,83	0,55	0,22	0,16
	.0508	0,5	800	0,06	3,33	24	32		0,51	0,2	0,15
	.1008	1	800	0,13	3,33	22	38,67		0,56	0,17	0,13
	.1006	1	600	0,17	3,67	21	36,67		0,68	0,17	0,15
	.1508	1,5	800	0,19	3	19	38,67		0,77	0,26	0,2
	.1506	1,5	600	0,25	3	17	39		1,32	1,04	0,16
	.2006	2	600	0,33	3	10,67	39,67		1,88	0,49	0,21
	.2004	2	400	0,5	3	10	28		1,73	0,3	0,27
MB	.0510	0,5	1000	0,05	6	40	46,33	7,51	0,54	0,32	0,22
	.0508	0,5	800	0,06	5,67	33	46,67		0,72	0,26	0,15
	.1008	1	800	0,13	5,67	21,33	48,33		1,02	0,31	0,29
	.1006	1	600	0,17	5	20,67	46,67		1,02	0,31	0,29
	.1508	1,5	800	0,19	9	21	45,33		0,97	0,38	0,32
	.1506	1,5	600	0,25	6	17,67	36		0,97	0,38	0,32
	.2006	2	600	0,33	4,33	13,33	44,33		1,56	0,33	0,35
	.2004	2	400	0,5	3	10,67	40,67		3,02	0,72	0,31
SS	.0510	0,5	1000	0,05	3,67	23	34,33	13,24	0,88	0,84	0,22
	.0508	0,5	800	0,06	3	24,67	37,33		1,01	1	0,52
	.1008	1	800	0,13	3,67	22,33	35		1,12	0,76	0,58
	.1006	1	600	0,17	4	14,67	34,67		1,82	1,81	0,72
	.1508	1,5	800	0,19	5,33	12,33	25,33		1,24	0,75	0,42
	.1506	1,5	600	0,25	4	14,33	36,33		1,87	0,96	0,42
	.2006	2	600	0,33	3	7,33	35,33		2,05	1,2	0,93
	.2004	2	400	0,5	2,33	7	23,33		2,66	2,11	1,07

amacıyla, yazarlar tarafından “etki oranı” olarak adlandırılan yeni bir kavram-oran hesaplanmıştır. Etki oranından kastedilen, abrasiv kafalarının bir turu sırasında numunenin yer değiştirme miktarıdır. Bu oran, bant hızının kafa devrine bölünmesi şeklinde elde edilir ve birimi “mm/devir” dir.

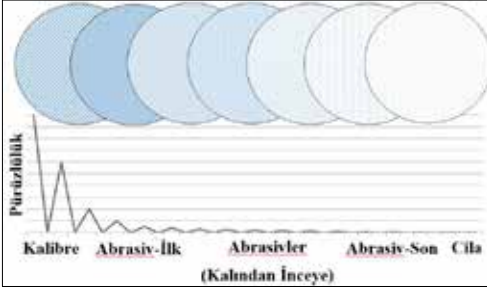
Deneyler sonucu elde edilen veriler ve etki oranı değerleri Çizelge 3 de verilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Aşındırma-parlatma deney sonuçları incelendiğinde, beklendiği gibi tüm denemelerde, abrasiv numaralarının

artmasıyla pürüzlülük değerlerinin düştüğü, parlaklık değerlerinin yükseldiği ve en iyi parlatma değerinin cila uygulamasından sonra olduğu görülmüştür. Bu, işlem sırasında her bir abrasiv kafanın, malzeme

yüzeyindeki çizdiği süpürüp kendi çizimini bırakmasından kaynaklanmakta olup süreç içerisinde abrasivlerin büyükten küçük taneye doğru sıralanmasının da nedenidir (Şekil 5). Sıralamanın farklı olması durumunda, yanlış yerleştirilen numaraların işini yapamayacağı ve gereksiz aşınacağı söylenebilir.



Şekil 5 Parlatma hattı ve mermer yüzeyler aşındırıcı yerleştirme (Ozuloğul, 1994)

Parlaklık, bir yüzeye belli bir açıyla gelen ışığın, yansıttığı miktarının bir ölçüsüdür. Dolayısıyla parlak bir yüzeye gelen ışık demeti, teorik olarak geldiği açıyla kırılarak yansır. Pürüzlülük ise, malzeme yüzeyindeki girinti ve çıkıntıların, bu uygulama için abrasivlerin oluşturduğu çiziklerin, ölçüsüdür. Pürüzlü yüzeyler, ışık demetini

geldiği açıyla yansıtamazlar ve daha mat görünürler. Dolayısıyla, herhangi bir yüzey için pürüzlülük değerinin düşmesiyle parlaklığının artacağı söylenebilir. Deney sonuçları incelendiğinde, parlaklıkla pürüzlülük arasında ters orantı olduğu görülmektedir (Şekil 6). Bu durum, konuyla ilgili önceki çalışmalarda elde edilen sonuçları desteklemektedir.

Aşındırma-parlatma süreci içerisinde düşük bant hızlarında çalışmak, malzemenin abrasivlerle temas süresinin artırılması anlamını taşır. Bu da, her bir abrasivin malzeme üzerindeki dönüş sayısının (devrinin) daha fazla olacağı anlamına gelir. Dolayısıyla, abrasiv kafalarının dönüş miktarı artırılarak daha yüksek bant hızlarında çalışılabilirliği mümkündür. Bu durum, malzemenin parlatılma süresini düşürür ve parlatma hattının kapasitesini artırır. Buna rağmen, yüksek devirlerde abrasiv ve numune arasındaki sürtünmeden dolayı sıcaklık artışı da fazla olacaktır. Yüzeyin sıcaklığının düşürülebilmesi de mermer ya da doğal taş üzerinde yanmalara neden olacaktır.



Şekil 6 Parlaklık ve pürüzlülük değişimi

Etki oranı, abrasiv kafanın her bir turunda, malzemenin bant üzerindeki ilerleme miktarını ifade eder. Bu çalışmada etki oranı 0.05-0.5 mm/dev arasında farklı bant hızı ve kafa devirlerinde parlaklık ve pürüzlülük verileri incelenmiş, mermer türü bazında etki oranı-parlaklık ve etki oranı-pürüzlülük dağılım grafikleri çizilmiştir (Şekil 7). Her

bir grafik için basit regresyon analizi yapılmış ve ilişki düzeyi belirlenmiştir. Buna göre;

BE örnekleri için etki oranı ve parlaklık arasında azalan doğrusal bir ilişki olduğu benzer şekilde pürüzlülük ile de artan doğrusal ilişki olduğu görülmektedir. Varyans değerlerinin anlamlı olması için

verilerin düzgün doğrusal dağılım göstermesi ve “1” e eşit ya da yakın olması gerekir. Burada R^2 değerlerinin 0.68 ve 0.73 gibi orta üstü değerler olması dikkate değer bir ilişkinin olduğu anlamını taşımaktadır.

BT örneklerinde de hem parlaklık hem de pürüzlülük için ($R^2_{Pa}:0.84$, $R^2_{Pü}:0.5$) anlamlı ilişki olduğu söylenebilir. Etki oranı-Pürüzlülük ilişkisinin 0.5 lerde kalmasının travertenin boşluklu yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

CB örneklerinde etki oranı pürüzlülük arasında $R^2_{Pü}=0.76$ gibi yüksek bir değer hesaplanırken parlaklıkla ilgili anlamlı bir ilişki saptanamamıştır. Bunun nedeni olarak, örneklerin yüzeylerinin farklı renk tonlarına sahip olması ve parlaklık ölçümlerini etkilediği söylenebilir.

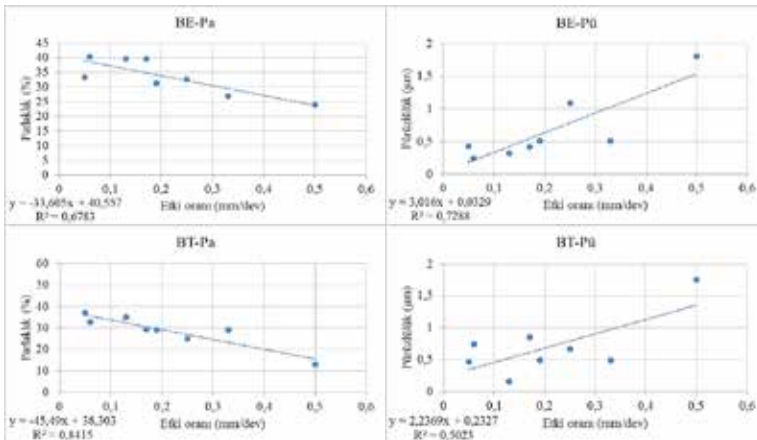
MB örneklerinde ise R^2 değerleri 0.35, 0.45 gibi ortanın altında hesaplanmasına rağmen parlaklıkta azalan pürüzlülükte artan doğrusal düşük seviyede bir ilişki olduğu görülmüştür.

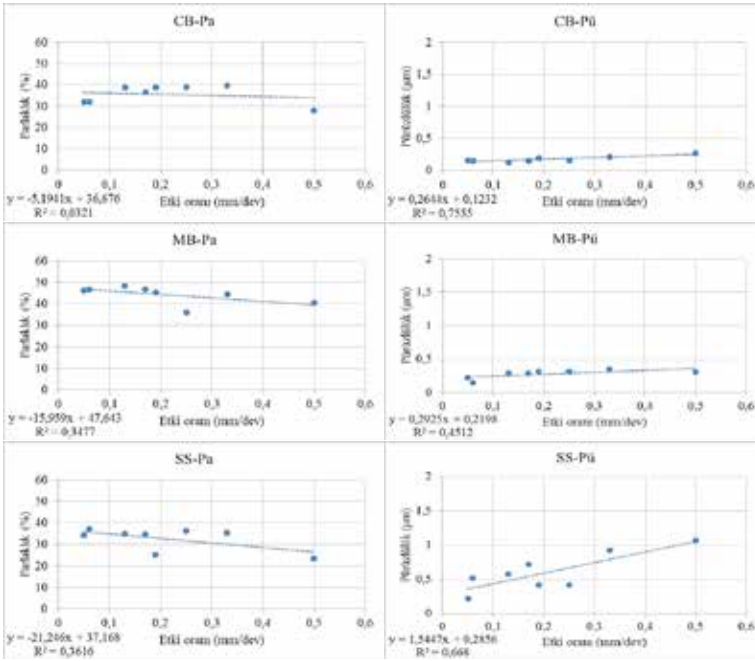
SS örneklerinde de CB örneklerinde olduğu gibi $R^2_{Pü}=0.67$ gibi orta üstü bir değer hesaplanırken parlaklıkla ilgili çok düşük bir ilişki saptanmıştır. Burada da diğer denemelerde olduğu gibi etki oranı parlaklık azalan doğrusal, pürüzlülük artan doğrusal ilişki şeklindedir.

İlişkiyi tanımlayan denklemlerdeki ($y=ax±b$) “a” değeri, doğrunun eğimidir ve eğim, malzemenin pürüzlü halden parlak hale geçiş sürecinin bir fonksiyonudur. Yani,

eğimi yüksek olan malzemeler için, parlaklığın ya da pürüzlülüğün kısa aralıkta değiştiği ve bant hızı/kafa devri değişimlerine daha hassas olduğu sonucu çıkarılabilir. Denklemdaki “b” değeri ise, ideal parlaklık (100) ve ideal pürüzlülük (0) durumu için tahmin edilen etki oranıdır. İdeal parlaklık, pürüzlülük değerinin “0” ya da “0” a yakın olduğu durumdur ve tanımlama düz cam ve ayna için kullanılabilir. Mermer ya da doğal taşların ışığı, pratikte bir ayna kadar yansıtmayacağından dolayı, “x” değerinin “0” dan büyük bir değer alması gerektiği söylenebilir. Ayrıca etki oranı “y” de, “0” ya da “∞” olamaz. Çünkü süreçte bir bant hızı ve kafa devri olmak zorundadır.

Bu bilgiler ışığında en parlak ya da en pürüzsüz yüzeyi elde etmek için etki oranı değeri hesaplanabilir. Bunun için R^2 değeri en büyük olan denklemin seçilmesi yapılacak tahminin hata miktarının azaltacaktır. Ayrıca her iki denklem kullanılarak da değerlendirme yapılabilir. Hesaplanan etki oranını karşılayacak birden fazla seçenek olacaktır. Sonuç olarak üretim kapasitesini maksimum düzeyde tutacak bant hızı ile yüzeyde yanmalara neden olmayacak bant hızı üretim parametresi olarak seçilmelidir. Bu değerler aşındırma parlatma işlemine tabi tutulacak doğal taşın fiziko-mekanik ve kimyasal özelliklerine göre farklıdır.





Şekil 7 Etki oranı-Parlaklık ve Etki oranı-Yüzey pürüzlülüğü dağılım grafikleri

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucunda, aşındırma-parlatma sürecinde kullanılan abrasiv numaralarının küçükten büyüğe sıralanmasıyla yüzey parlaklığının arttığı, pürüzlülüğünün düştüğü ve her bir abrasivin, numune yüzeyi üzerindeki çizdiği sıyrarak kendi çizdiğini bıraktığı görülmüştür.

Tüm çalışma parametreleri için yapılan parlaklık ve pürüzlülük ölçümlerinde, pürüzlü yüzeylerin daha mat, pürüzlülüğü düşük olan yüzeylerin ise daha parlak olduğu görülmüş ve parlaklıkla pürüzlülük arasında ters orantılı bir ilişki olduğuna karar verilmiştir.

Yapılan deneylerin tamamı incelendiğinde, pürüzlülüğün, bant hızının artmasıyla arttığı, kafa devrinin artmasıyla da düştüğü görülmüştür. Buna göre bant hızı ve kafa devrinin aşındırma-parlatma sürecinde birbirlerine göre ters orantılı etki ettiği sonucuna varılmıştır. Bu yüzden, numunenin bant üzerinde 1 mm ilerlemesi durumunda abrasiv kafanın dönüş miktarı hesaplanmış

ve veriler, “etki oranı” olarak adlandırılan bu değere göre tekrar değerlendirilmiştir. Değerlendirmede etki oranı ile pürüzlülük arasında doğrusal bir ilişki olduğu saptanmış olup elde edilen korelasyon denklemleri yorumlanmıştır.

Sonuç olarak, etki oranı-pürüzlülük ilişkisinin dikkate alınacak seviyede ($R^2_{BE}:0,73$, $R^2_{BT}:0,50$, $R^2_{CB}:0,76$, $R^2_{MB}:0,45$, $R^2_{SS}:0,67$) olduğuna karar verilmiştir. Korelasyon denklemlerine göre, BT, BE ve SS numunelerinde etki oranı-pürüzlülük değişiminin daha kısa aralıkta olmasından bant hızı/kafa devri değişimlerine karşı daha hassas olduğu, diğer numunelerinin daha az hassas olduğu söylenebilir. Aynı şekilde etki oranı-parlaklık ilişkisinin BE ve BT numunelerinde ciddi seviyelerde ($R^2_{BE}:0,68$, $R^2_{BT}:0,84$) olduğu diğerlerinde çok düşük olduğu görülmüştür ($R^2 > 0,37$). Korelasyon denklemlerine göre de parlaklık değişiminin, bant hızı/kafa devri değişimine karşı tüm numunelerin duyarlı olduğu söylenebilir.

Aşındırma-parlatma sürecinde, gerek optimum çalışma parametrelerinin

belirlenmesinde gerekse doğal taşların özellikleri ve parlatılabilirlikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde, etki oranı değerinden de yararlanılabileceği ve çalışmanın farklı doğal taş örnekleri üzerinde geliştirilerek devam etmesi gerektiği düşünülmektedir.

Katkı belirtme: Bu çalışma AKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (No: 11.ARŞ.MRK.05) tarafından desteklenmiştir. Katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Erdoğan M., 2000, Measurement of polished rock surface brightness by image analysis method. *Engineering Geology*, 2000; 57: 65–72.
- Ersoy M., Çelik M. Y., Yeşilkaya L. ve Geçer G., 2013, Mermer Parlatma Sürecinde Abrasiv Kafa Devrinin Yüzey Kalitesine Etkisinin Araştırılması, *Madencilik*, 52(4), 13-26.
- Ersoy M., Kose H., 2001. The relationship between easiness to polishing and mechanical properties of marbles. III. National Marble Symposium, Afyon, Turkey, 337–349.
- Ersoy M., Yeşilkaya L., Çelik M. Y. ve Geçer G., 2014, Mermer Parlatma Sürecinde Bant Hızının Yüzey Kalitesine Etkisinin Araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 17(4), 153-160.
- Geçer G., 2011, Bazı Mermerlerin Parlatma Parametrelerinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Lisans Bitirme Ödevi (Dn: Metin Ersoy), 65 s
- Görgülü K. & Ceylanoğlu A., 2008, Evaluation of continuous grinding tests on some marble and limestone units with silicon carbide and diamond type abrasives. *Journal of Materials Processing Technology*, 204, 264–268.
- Görgülü K., 1998, Bazı Mermer Birimleri İçin Optimum Aşındırma-Cilalama Koşullarının Araştırılması ve Malzeme Özellikleri İle İlişkilendirilmesi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), Sivas, 178.
- Görgülü K., Ceylanoğlu A., Durutürk Y.S. & Arpaz E., 2008, Investigation of roughness and glossiness of different marble units at the stages of continuous grinding and polishing (in Turkish), *Proceedings of 6th Symposium on Marble*, June 26-27, 413–422.
- Huang H, Xu XP., 2004, Interfacial interactions between diamond disk and granite during vertical spindle grinding. *Wear* 2004; 256:623–632.
- Karaca Z., 2008, Effect of Head Pressure and Abrasive Series on Surface Roughness of Marbles, *Surface Modification Technologies XXII*, University West, Sweden, 22-24 Sep., 289-296
- Karaca Z., 2012, Relationship between the mechanical properties and the surface roughness of marble. *International Journal of Materials Research* 103(5), 633–637.
- Oliveira OC, Bobrovitchii GS, Oliveira LJ, Rocha Paranhos RP, Aigueira RB, Marcello F., 2009, Epoxy–quartz based composites for use in polishing crowns of ornamental rocks. *Materials Characterization*, 2009; 60: 869–874.
- Ozuloğul A. & Erdoğan, M., 1995, Mermerlerde Yüzey Parlaklığını Görüntü Analiz Yöntemi ile Ölçülmesi, *Türkiye 1. Mermer Sempozyumu*, Afyon, 37-44.
- Ribeiro RP, Paraguassú AB., 2008, Relationship between technological properties and slab surface roughness of siliceous dimension stones. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2008; 45: 1526–1531.
- Sarı D., Yavuz H. 2001. Quantitative definition of marble gloss. III. National Marble Symposium, Afyon, Turkey, 265–275 [in Turkish].
- Wang G, Wang Y, Xu Z., 2009, Modeling and analysis of the material removal depth for stone polishing. *Journal of Materials Processing Technology*, 2009; 209: 2453–2463.
- Wright DN, Rouse C., 1993, Stone polishing-measurement of surface finish. *Industrial Diamond Review*, 1993; 1: 10–13.
- Yavuz H., 2011 Ozkahraman T., Demirdag S., 2011, Polishing experiments on surface quality of building stone tiles. *Construction and Building Materials*, 2011; 25: 1707–1711.

Agrega Üretiminde Kullanılan Endüstriyel Kırıcılar *Industrial Crushers Used in Aggregate Production*

S. Karaca, Ö. Cameren, U. Demir, O. Şahbaz, C. Karagüzcel

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

ÖZET İnşaat sektörünün gün geçtikçe büyümesi, doğal agrega kaynaklarına olan talebi artırmaktadır. Bu kaynaklardan sektörün talep ettiği şekil ve boyutta taneli malzeme (agrega) üretiminde ise çeşitli kırıcı ve sınıflandırıcılardan yararlanılmaktadır. Endüstriyel olarak kullanılan bu kırıcılar, kırma performansına bağlı olarak enerji sarfiyatı ve üretilen tane özellikleri açısından farklılıklar göstermektedir. Bu çalışma kapsamında agrega üretiminde kullanılan kırıcıların çalışma prensipleri irdelenmiş ve enerji tüketimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar kelime: Agregası, endüstriyel kırıcılar, enerji tüketimi

ABSTRACT The demand of natural aggregate sources increases due to the increase in building sector day by day. Various crushers and classifiers are used to production of aggregate having suitable size and shape according to necessities of the sector. The crushers used in industrial scale have different characteristics and produce different shape of particle with consuming various amount of energy. In this study, operational principles, energy consumption and some other characteristics of the industrial crushers can be used in building sector has been investigated.

Key words: Aggregate; industrial crushers; energy consumption

1 GİRİŞ

Agrega hem ince hem de iri fraksiyonlardan oluşan granular yapıdaki betonu oluşturan mineraller olarak tanımlanabilir (Alexander ve Mindess, 2005). Agregalar doğada alterasyon, jeotermal yapı, bulunduğu havanın şartları ve jeolojik bir sürece bağlı olarak oluşmaktadır. Günümüzde inşaat sektöründeki büyüme nedeniyle doğal agregalar talep edilen miktarı karşılayamamaktadır. Ancak doğal kum ve çakıl yapısında tanecikli malzemeler üretmek için kırma ve sınıflandırma gibi bazı prosesler uygulanmaktadır. Bu işlemlerden

sonra mühendislik yapıları için gerekli olan özellikte (dayanım ve mukavemette) agrega üretilmektedir.

Kırma işlemi ufalamanın ilk basamağını oluşturmaktadır. Tüvenan malzemenin tek kademedeki ince boyutlara ufalanması teknik olarak mümkün değildir. Ocaktan yantaşıyla birlikte üretilen malzeme çok iri boyutlarda taneler içermektedir. Bu nedenle malzemenin istenilen tane boyutuna küçültülmesi birkaç kademedeki kırma ve öğütmeyle mümkün olmaktadır (Ergin vd., 1998). Bu boyut küçültme aşamaları nihai ürünün kalitesini belirler ve bu kalitenin

belirlenmesi özellikle agrega sektörü için çok önemlidir. Çünkü agreganın özelliklerini doğru belirlemek, yüksek performansla beton üretilmesi için dayanım ve mukavemet açısından önemlidir (Öztürk vd., 2012; Kaplan, 1959; Masad, 2002). Bunun yanı sıra agrega firmaları tanenin kübik şekilli olmasını da talep etmektedir (Metso Minerals, 2008).

Agregada olması istenen kübik malzeme üretimi ve düzgün ürün dağılımı için çeneli kırıcıların kullanılmadığı nemli, yüksek kapasite gereken sert ve aşındırıcı malzemelerin kırılmasında çarpma kuvveti ile çalışan kırıcılar kullanılmaktadır. Çarpma kuvveti kırıcının yüksek hızdaki hareketli parçalarının kırılacak sert taneye ya da taneler birbirine çarptırılarak oluşturulmaktadır (Yıldız, 2014). Kayaç tipine göre seçilen kırıcı tipi ve kırma yöntemi kübik şekil elde etmek için önemlidir (Öztürk vd., 2012).

Czarnecka ve Gillott (1982)' e göre, çeneli kırıcı ile kırılan taneler, konik kırıcı ve darbeli kırıcıdan elde edilen taneye göre daha düzenlidir. Kırılmış tanelerin pürüzlülük ve şekil faktörü sırası ile çeneli, konik ve darbeli kırıcı olarak gittikçe azalmaktadır. Eloranta (1995)'a göre de elde edilen ürünün niteliğini belirlediği için, agreganın şeklini en çok üçüncü aşama kırıcılar etkilemektedir.

Agrega üreten firmalar için agreganın boyut küçültmeden sonra nihai oluşan şekliyle birlikte kırıcılar tarafından harcanan enerji de önemlidir. Kırılan tanenin oluşturduğu yüzey ile harcanan güç arasında bir bağlantı vardır. Bir kırma tesisinde enerji tüketiminin büyük bir kısmı ince boyut küçültme devresinde oluşmaktadır. Bu durum iki şekilde açıklanabilir. Tane boyutu küçüldükçe, tanelerin toplam yüzey alanı artmaktadır. Yani tane boyutu sıfıra yaklaştıkça, özgül yüzey alanı sonsuza gitmektedir. Tüketilen enerjinin miktarı ise yeni yüzey alanının lineer bir fonksiyonudur. Diğer açıklamaya göre, kırılma kayaç

içindeki mikro çatlaklarda meydana gelir. Taneler daha küçük boyutlara kırıldıkça, çatlaklar azalacak ve kompakt taneler meydana gelerek kırılma nispeten zorlaşacaktır (Tavares ve King, 1998).

Ufalama işlemi için verilen enerji ile ufalamada sarf edilen enerji miktarı arasındaki ilişkileri ortaya çıkarabilmek için bugüne kadar pek çok hipotez ortaya atılmıştır. Rittinger ufalama olayını yüzey enerji isisi artışı yönünden ele almıştır. Kick, tane hacmi küçülmesi yönünden ele almakta ve homojen kayaçların kırılmasında hacim küçülmesi ile orantılı bir enerji sarfı gerektiğini iddia etmektedir. Bond ise Rittinger ve Kick teorilerine karşı çıkmış ve "boyut küçültmede faydalı iş, meydana getirilen çatlak uzunlukları ile orantılıdır" görüşünü savunmuştur. Holmes, ufalama esnasında bir malzemenin davranışının, beslenen malzemenin boyutu ve şekline, kırıcı kuvvetin uygulanmasına bağlı olarak değiştiğini ileri sürmüştür. Charles ise geçerlilikte olan bütün ufalama kanunlarını genel bir diferansiyel denklem olarak ifade etmiştir (İpekoğlu, 1997).

Bir agrega tesisinin tasarımı aşamasında ise seçilmesi gereken kırıcının güç gereksiminin ve kırıcı ürününün tane boyu dağılımının kestirimi, ufalama devresinin enerji gereksiminin, kütle denkleğinin ve kırıcı kapasitelerinin belirlenmesi açısından önem arz etmektedir (Hoşten, 2002).

Kırıcıya beslenecek malzemenin %80' inin geçtiği tane boyutu (F_{80} , μm) bilindiği takdirde, laboratuvarında veya pilot çapta tayin edilen kırılabilirlik endeksi (W_i , kW-s/t) ve Bond enerji eşitliğini kullanarak istenilen bir ürün tane boyutu (P_{80} , μm) için gerekli kırma birim enerjisi hesaplanabilir (Hoşten, 2002).

$$W(kW - s/t) = 10 \times W_i \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \quad (1)$$

Her firma farklı özellikte kırıcı ürettiği için, kırma sonunda elde edilen agreganın boyut dağılımı ve harcadığı enerji de farklı olmaktadır.

Yukarıda anlatılanlar ışığında bu çalışmada agrega firmaları açısından önemli olması nedeniyle endüstriyel olarak agrega üretiminde kullanılan kırıcılar ve özellikleri incelenirken, performans ve enerji sarfiyatları açısından kırıcılar karşılaştırılmıştır.

2 KIRICILAR

2.1 Jiroskopik Döner Kırıcı: Kırıcının çalışma prensibi yukarı doğru genişleyen sabit konik gövde ile ortada hareketli koni arasına giren tanenin sıkıştırma kuvveti ile küçültülmesi ve küçültülen malzemenin kendi ağırlığı ile düşerek çıkış ağızına doğru hareketi esasına dayanmaktadır (Metso, 2008; Önal vd., 2014; Yıldız, 2014).

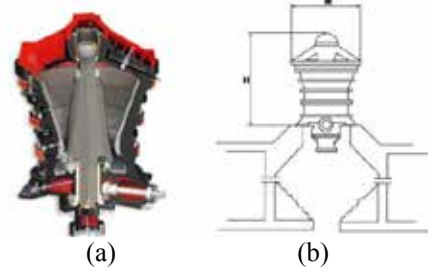
Koninin hareketini sağlayan eksantrik mil yaklaşık 85-150 d/d' lık bir hızla dönmektedir. 25-30 derece arasında değişen, kırıcı kavrama açısı, besleme üst boyutunu belirleyen parametrelerden biridir. Diğer taraftan döner kırıcıların tasarlanmasında kavrama açısının yanı sıra besleme miktarı, giriş açıklığı, alt çıkış açıklığı, malzemenin iş endeksi ve kırıcı sisteminin harcadığı güç kırıcı seçimini belirleyen diğer parametrelerdir (Yıldız, 2014).

Kırıcının çıkış ağızında iç ve dış astar arasındaki açıklık, kırılmış tanenin boyutunu belirlemektedir. Kırma boyutu; kırıcı milin aşağı ya da yukarı hareket ettirilerek kırıcı çıkış açıklığının değiştirilmesiyle ayarlanmaktadır (Yıldız, 2014).

Döner kırıcılar üç farklı tipten oluşmaktadır (Önal vd., 2014):

- Oynar milli

- Sabit milli
- Paralel sıkıştırma yapan döner kırıcılar.



Şekil 1. Döner kırıcı yan kesiti (a), şematik gösterimi (b)(Sandvik, 2015; Metso, 2015)

Döner kırıcıların ufalama oranları 3-11 arasında değişmektedir. Ancak endüstriyel uygulamalarda bu oran ortalama 6 civarında tutulmaktadır (İpekoğlu, 1997; Önal vd., 2014). Kırılmış malzemenin üst boyutu ise 10-16 cm boyutundadır (Yıldız, 2014).

Metso Mineral (2008), döner kırıcıların kapasitelerini belirlemeye yönelik yapmış olduğu çalışma Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çizelgede kapasiteler $1,6 \text{ t/m}^3$ yoğunluğundaki malzeme için hesaplanmıştır. Buna göre; döner kırıcı kapasitesi tanelerin tamamı kırılacak ise kırıcı ağız açıklığının %80' inden, tanelerin %80' i kırılacak ise kırıcı ağız açıklığının %50' sinden, tanelerin %50' si kırılacak ise kırıcı ağız açıklığının %10' undan geçtiği açıklıklar göz önüne alınarak belirlenmiştir. Çizelge 1' de ayrıca kırıcı açıklıkları ve güç tüketimlerine bağlı olarak, kırıcılara ait kapasiteler de verilmiştir.

Çizelge 1. Metso Minerals firması tarafından üretilen Jiroskopik Döner Kırıcıya (Superior MK-II Gyratory Crusher) ait kapasite ve gerekli güç tüketimi (Metso Minerals, 2008)

Model	Besleme Açıklığı (mm)	d/d	Max. (kWh)	125 mm	140 mm	150 mm	165 mm	175 mm	190 mm	200 mm	215 mm	230 mm	240 mm	250 mm
42-65	1065	600	375		1635	1880	2100	2320						
50-65	1270	600	375			2245	2625	2760						
54-75	1370	600	450			2555	2855	3025	3215	3385				
62-75	1575	600	450			2575	3080	3280	3660	3720				
60-89	1525	600	600				4100	4360	4805	5005	5280	5550		
60-110	1525	600	1000					5575	5845	6080	6550	6910	7235	7605

2.2 Çeneli Kırıcı: Çeneler arasında giren tanenin, sabit çene ile hareketli çene arasında sıkıştırılarak kırılması prensibiyle çalışmaktadır. Çeneli kırıcıların çıkış açıklığı ile çene hareketi, beslenen taneler ve istenilen ürün boyutuna göre ayarlanmaktadır. Çenenin salınım sayısının yüksek olması ince ürün miktarını arttırmaktadır. Eksantrik hareketli çeneli kırıcılarda eksantrik çene hareketi tanenin aşağı yönde hareketini kolaylaştırmaktadır fakat bu hareket aşındırma özelliği yüksek olan tanelerin kırılması için uygun değildir (Yıldız, 2014; Metso, 2008).

Çeneler arasındaki açı, genel olarak, 26° den daha küçüktür. Daha büyük açılar malzemenin kaymasına neden olmakta, bu durum kapasiteyi düşürürken aşınmayı da arttırmaktadır (Özdağ, 2000; Önal vd., 2014).

Çeneli kırıcılarda çenenin biri sabit diğeri hareketlidir. Hareketli çenenin gövdeye bağlantı yerine ve hareket aldığı noktaya göre Dodge, Universal ve Blake tipi kırıcılar üretilmektedir.

Blake tipi kırıcılar tek ve çift mafsallı olarak ikiye ayrılmaktadır. Çift istinat kollu kırıcılar tek istinat kollulara nazaran maliyeti %50 daha fazla olup, sert ve aşındırıcı malzemeler için kullanılmaktadır (İpekoğlu, 1997; Özdağ, 2000; Yıldız, 2014).

Çeneli kırıcılar, hareketli ve sabit çenenin arasında kalan dikdörtgen ağız

açıklığının eni ve boyu ile ifade edilmektedir. Çeneli kırıcıların boyut küçültme oranı bazı kaynaklarda farklı değerler almaktadır. İpekoğlu (1997)' e göre 4-7 arasında, Önal vd. (2014)' e göre 6-9 arasında değişmektedir. Çeneli kırıcı ağızına beslenecek en büyük tane boyutu kırıcı ağız açıklığının en fazla %80' i kadar olmalıdır. Kırıcıdan çıkan kırılmış tanenin üst boyutu 10-16 cm civarındadır. Çenenin salınım uzunluğu 1-7 cm, salınım sayısı da 100-300 d/d arasında değişmektedir (Önal, vd., 2014; Yıldız, 2014).

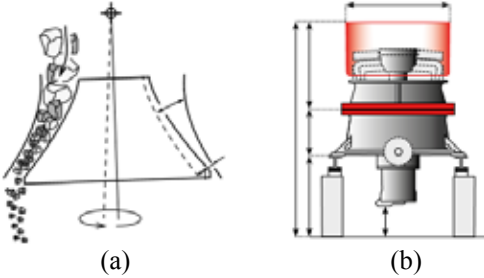
Çeneli kırıcı kapasiteleri 2.7 t/m³ yoğunluğunda ve çıkış açıklığından daha büyük boyutta tane içeren, kırıcı ağızından rahatça geçebilecek boyutta taneler için belirlenmektedir. Kırıcı kapasiteleri, malzemenin besleme yöntemine, yoğunluğuna, kırılabilirliğine, nem ve kil içeriğine göre değişiklik gösterebilir (Metso Minerals, 2008; Önal vd., 2014).

Çizelge 2'de Sandvik firması tarafından üretilen çeneli kırıcılara ait kapasite ve güç tüketimi verilmiştir.

Çizelge 2. Sandvik firması tarafından üretilen Çeneli Kırıcıya (Jaw Crushers CJ) ait kapasite ve gerekli güç tüketimi (Sandvik, 2015).

Model	Besleme Açıklığı (inch)	Max. Güç (kWh)	CSS (inch)	Kapasite (t/h)
CJ411	41x33	110	3-9	165-625
CJ412	47x33	132	3-11	180-870
CJ612	47x33	160	5-11	330-890
CJ613	51x45	160	5-12	365-1060
CJ615	59x42	200	5-12	425-1195
CJ815	59x51	200	6-12	530-1280

2.3 Konik Kırıcı: Konik kırıcıların çalışma prensibi döner kırıcılara benzemektedir. İki kırıcı da milin eksantrik hareketi sayesinde kırma işlemini yapmaktadır (Evertsson, 2000). Konik kırıcılar standart ve kısa kafalı olmak üzere ikiye ayrılır. Standart konik kırıcılar ikinci, kısa kafalı konik kırıcılar üçüncü gerektiğinde de dördüncü kademe kırıcı olarak kullanılmaktadır (Önal, vd., 2014; Yıldız, 2014).



Şekil 2. Konik kırıcı (b) çalışma prensibi (a) (Evertsson, 2000; Sandvik, 2015)

Kırma boyutu, kırma sonucu istenilen boyuta göre uygun astar kullanılarak ayarlanmaktadır. Konik kırıcıların kapasiteleri kırma astarlarının şekilleri ile ilişkili olup kırılmış ürün boyutu düştüğünde kapasite de düşmektedir. En uygun şartlarda konik kırıcılar ancak %80 verimle çalışabilmektedir. Kırıcı konininin hareketi kırıcı büyüklüğüne bağlı olarak yaklaşık

250-500 d/d arasındadır (Önal, vd., 2014; Yıldız, 2014).

Konik kırıcılarda kırılacak tanenin boyutu kırıcının giriş ağzının kapalı tarafından %10-20 daha büyük, açık tarafından %90 daha küçük olması önerilmektedir. İkinci kademe kırmada 3 ile 5 arasında boyut küçültme oranı olan standart konik kırıcılar kullanılarak 6-10 cm boyutunda kırılmış ürün elde edilmektedir. Üçüncü kademe kırmada 2 ile 3 boyut küçültme oranı ve dördüncü kademe kırmada 6 boyut küçültme oranıyla kısa kafalı konik kırıcılar kullanılarak, malzeme -1.5 mm' ye kadar kırılmaktadır (Yıldız, 2014).

Konik kırıcılar az miktarda ince ürün oluşturur iken, en büyük dezavantajı darbeli kırıcılara nazaran, tüm fraksiyonlarda düzensiz şekilli ürün elde etmesidir (Bengtsson ve Evertsson, 2006a).

Konik kırıcıların kırma zonunda değişiklikler yapılarak diskli kırıcılar üretilmiştir. Çok ince malzeme elde etmek için kullanılan bu kırıcılar, taş ocaklarında büyük miktarlarda -1 cm boyutunda kum veya çakılın ekonomik olarak elde edilmesinde kullanılmaktadır (İpekoğlu, 1997).

Diskli kırıcılar kuvars, kireçtaşı, granit, çakıltası, dolomit gibi birçok cevherin ufalanmasında kullanılır. Bazı kırma-öğütme devrelerinde bilyalı değirmen kapasitesini arttırmak için bu değirmenden önce kullanılabilirler (Önal, vd., 2014).

Çizelge 3, 4 ve 5'te farklı firmalara ait konik kırıcıların harcadığı güç, dönüş hızı ve kapasiteleri görülmektedir.

Çizelge 3. Metso Minerals firması tarafından üretilen CP Serisi konik kırıcıya ait kapasite ve gerekli güç tüketimi (Metso Minerals, 2008)

	Güç (kWh)	CSS	20 mm	25 mm	30 mm	35 mm	40 mm	45 mm	50 mm	60 mm
GP100S	75-90	16 mm	80-90	105-115	120-130	135-145	145-165	155-175		
		20 mm		120-130	145-155	160-180	170-200	185-215		
		25 mm			185-195	200-220	210-230			
GP200S	110-160	18 mm		110-140	140-170	160-190	180-210	200-230	230-260	
		25 mm			170-220	190-240	210-260	230-280		
		32 mm				230-280	270-320	280-350		
GP300S	132-250	18 mm		170-190	170-210	190-230	210-255	235-275	255-295	
		25 mm				255-315	290-345	320-350		
		32 mm				360-400	380-420	400-440		
		40 mm					450-500	480-530		
			45 mm	50 mm	55 mm	60 mm	65 mm	70 mm	75 mm	80 mm
GP500S	200-315	18 mm	300-350	325-375	375-425	400-450	425-475	450-500	500-550	550-600
		25 mm		500-550	550-600	600-650	650-700	700-750	750-800	
		32 mm		650-700	700-750	750-800	825-875	900-950	950-1000	

GP-Serisi, düşük maliyetinden dolayı olarak dizayn edilen S-modelini de ikinci kademedede, agregada üretiminde ise içermektedir (Metso Minerals, 2008). birinci kademedede kullanılmak üzere özel

Çizelge 4. Telsmith firması tarafından üretilen SBS Serisi Konik kırıcıya ait kapasite ve gerekli güç tüketimi (Telsmith, 2011).

	Max. Güç (kWh)	d/d	Devre	3/8"	½"	¾"	1"	1 ½"	1 ¾"	2"
38 SBS	150	780	Açık	90-115	115-145	155-190	190-230	235-290		
			Kapalı	115-140	130-160	170-210	205-255			
44SBS	225	677	Açık	123-160	150-200	200-260	245-320	320-415	360-455	
			Kapalı	150-195	170-220	220-285	270-350			
52 SBS	300	600	Açık		175-225	230-300	280-365	365-475	410-530	455-585
			Kapalı	175-225	200-260	255-330	310-400	380-485		
57 SBS	375	710	Açık			335-435	400-525	485-625	565-730	635-820
			Kapalı		300-385	370-480	440-575	505-640		
68 SBS	450	565	Açık			470-610	535-695	635-825	705-915	780-1005
			Kapalı		450-585	520-670	585-760	685-860		

Çizelge 5. Sandvik firması tarafından üretilen CS Serisi Konik kırıcıya ait kapasite ve gerekli güç tüketimi (Sandvik, 2015).

Model	Max. Besleme Boyutu (inch)	Max. Güç (kWh)	CSS (inch)	Kapasite (t/h)
CS420	9.4	90	0.7-1.5	70-168
CS430	14.2	132	0.7-2.1	91-344
CS440	17.7	220	1-2.1	195-601
CS660	22	315	1.5-3.3	318-1050

2.4 Darbeli Kırıcı: Darbeli ve çekiçli kırıcıların çalışma prensibi, rotordaki kinetik enerji kullanılarak taneleri kırma barı, sabit ya da hareketli çekiçlere çarparak zayıf ve süreksizlik yerlerinden ayırıp küçültülmesi esasına dayanmaktadır. Darbeli kırıcılarda malzeme baskı yerine darbe etkisi ile kırılmaktadır. Basma kuvveti uygulanan kırma işlemi sırasında kırılacak malzemede oluşan iç gerilmeler kırılmış malzemede de gözlenmektedir. Darbeli ve çekiçli kırıcılarda kırılmış malzemelerde ise iç gerilme söz konusu olmamaktadır. Ayrıca, darbeli kırıcıların kullanıldığı kırma işlemi sonucu kübik malzeme üretilmektedir. Ayrıca elde edilen ürün düşük oranda toz içerip, düzgün boyut dağılımına sahiptir. Bu özellikleri

nedeniyle darbeli kırıcılar özellikle yol yapımı ve inşaat sektöründe kullanılacak agrega üretimine yönelik kırma işlemi için uygundur (İpekoğlu, 1997; Önal, vd., 2014; Yıldız, 2014).

Bir çeşit darbeli kırıcı olan çekiçli kırıcılar rotor üzerinde iki, üç, dört veya altı sıra halinde hareketli ya da sabit olan çekiçler ile kırma işlemi yapmaktadır. Çekiç sıra sayısı kapasiteyle ilgili değildir. Kırıcılarda rotor dönüş hızı 400-1500 d/d, boyut küçültme oranları 10-15 aralığında değişmektedir. Tek ve çift rotorlu çeşitleri olan bu kırıcılarda agrega üretimi çift rotorlu kırıcılarla yapılmaktadır (Önal, vd., 2014; Yıldız, 2014).

Çizelge 6. Metso Minerals firması tarafından üretilen NP tipi darbeli kırıcıya ait kapasite ve gerekli güç tüketimi (Metso Minerals, 2008)

Model	Besleme Açıklığı (mm)	Max. Besleme Boyutu (mm)	Max. Hız (RPM)	Max. Güç (kWh)	Kapasite (t/h) (P= - 40 mm, F= -400)
NP1007	750x800	500	800	90	100
NP1110	1020x820	600	800	160	150
NP1213	1320x880	600	700	200	200
NP1315	1540x930	600	700	250	250
NP1520	2040x995	700	600	400	400
Model	Besleme Açıklığı (mm)	Max. Besleme Boyutu (mm)	Max. Hız (RPM)	Max. Güç (kWh)	Kapasite (t/h) (P= - 100 mm, F= -800)
NP1210	1020x1080	800	700	160	250
NP1313	1320x1200	900	700	200	300
NP1415	1450x1320	1000	600	250	400
NP1620	2040x1630	1300	500	400	600
NP2023	2310x1920	1500	520	1000	1200

Çok yüksek devir hızları nedeniyle bu kırıcılarda aşınmalar çeneli ve döner kırıcılardan daha fazladır. Bu nedenle darbeli kırıcılar, içinde %15' ten fazla silis içeren cevherler için önerilmez. Kalker, kömür, jips, şist, amyant, çakıl ve beton agregaları için daha uygundur (İpekoğlu, 1997; Önal, vd., 2014). Çizelge 6' da Metso Firması' na ait NP tipi bir darbeli kırıcıya ait bazı parametre değerleri görülmektedir.



Şekil 4. Darbeli kırıcı çalışma şekli (Metso, 2015)

2.5 Dik Milli Kırıcı (VSI): Kırıcının gövdesinde bir rotor ve sabit dairesel bir kırma odası vardır. 70-90 m/sn hızla dönen rotor, ortasına beslenen taneleri çevresinden oldukça yüksek bir hızla fırlatacak şekilde tasarlanmıştır. Yüksek hızla fırlatılan tanelerin bir kısmı kırma odasında yığılarak

aşınmaya karşı tanelerden doğal bir yatak oluşturmaktadır. Kırma olayı, tanelerin bu bölgede birbirine yüksek hızla çarpması sonucu gerçekleşmektedir. Bu kırıcılar tek başlarına kullanıldıkları gibi öğütme devrelerinden önce maliyetleri düşürmek amacıyla da kullanılabilir (Önal, vd., 2014; Yıldız, 2014).

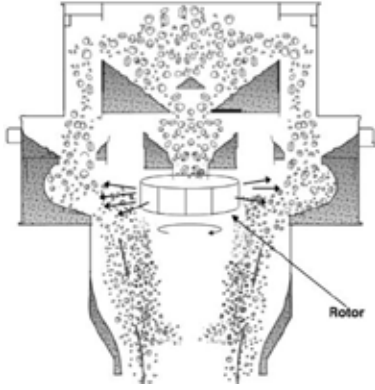
VSI agregada üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kırıcının yaygın olmasının sebebi tüm fraksiyonlarda kübik tane üretmesidir (Bengtsson ve Evertsson, 2008; Ramos vd., 1994). Ancak VSI' ların en önemli dezavantajı ise çok fazla miktarda ince malzeme üretmesidir (Bengtsson ve Evertsson, 2006b).

Düzgün ve yuvarlak şekilli kırılacak malzeme küçük rotordan yavaşça fırlatılabilmektedir. Doğal olarak yuvarlak ve kübik malzeme, köşeli ve düz malzemelere göre kırıcı kapasitesini %15 oranında arttırmaktadır (Yıldız, 2014).

Kırılacak malzemenin boyutu kırıcıya göre 20-80 mm arasında değişmektedir. Dik milli kırıcılarla 55 mm boyutundaki malzemeyi 300 μm 'nin altına kırma olanağı vardır. Bu kırıcılar neme karşı diğer kırıcılara göre daha esnek olup, kapasiteleri 2000 t/h' e kadar çıkabilmektedir. Madencilikte ve taş ocağı işletmeciliğinde VSI' lar yaygın olarak kullanılmaktadır (Yıldız, 2014).

Çizelge 7. Metso Minerals firması tarafından üretilen Barmac B-Series VSI' e ait kapasite ve gerekli güç tüketimi (Metso Minerals, 2008)

Model	Rotor Boyutu (mm)	Max. Besleme Boyutu (mm)	Max. Hız (RPM)	Max. Güç (kWh)	Kapasite (t/h)
B3100SE	300	20	5300	15	5-14
B5100SE	500	32	3600	55	19-60
B6150SE	690	37	2500	150	44-217
B7150SE	840	58	2000	300	125-424
B9100SE	840/990	66	1800	600	263-704



Şekil 4. VSI kırıcıların çalışma prensibi (Lindqvist, 2008)

Rotor ve kırma odasındaki çarpma plakaları tungsten karpit ile sağlam kaplanmış malzemeden imal edilmişlerdir. Ayrıca malzeme akışını kolaylaştırmak ve tıkanmayı önlemek amacı ile rotor içinden geçen türbülanslı bir hava akımı vardır (Önal, vd., 2014).

2.6 Merdaneli kırıcı: Kırıcı ağzına dökülen malzeme önce çarpma, sonra basma daha sonra da kesme kuvvetinin etkisi ile küçülmekte, küçülen tane çıkış ağzından kırıcıyı terk etmektedir. Enerji tüketimleri az, kırılan ürünlerdeki ince malzeme oranı da düşüktür. Tek merdaneli kırıcılar birinci kademe kırmada kullanılmaktadır. İki veya daha fazla sayıda merdaneli kırıcıların çalışma prensibi birbirine doğru dönen yatay silindirlerin arasına giren tanenin,

silindirlerin baskısı ile sıkıştırılarak kırılması esasına dayanmaktadır (Yıldız, 2014).

Kırıcı merdane ile gövde arasındaki mesafe ayarlanarak kırılacak ürünün üst ve alt boyutları belirlenmektedir. Bu kırıcıların kapasiteleri çok yüksektir. Olumsuz yanı ise, istenilen küçültme oranını yakalayabilmek için merdane çaplarının büyük olması gerekliliğidir (Yıldız, 2014).

Merdanelerin yüzeyleri düz ve dişli olabilmektedir. Düz merdaneler genellikle ince kırmada, dişli merdaneler iri kırmada kullanılmaktadır (İpekoğlu, 1997).

Merdaneli kırıcılar az aşındırıcı, gevrek, yapışkan, donmuş malzemelerin kırılmasında özellikle kalker, kömür, talk, jips, fosfat ve yumuşak demir cevherin tane boyutunu küçültmede kullanılır. Pek çok çeşidi olan bu kırıcıların en çok kullanılan türü, biri sabit diğeri ise kayabilen yataklar üzerinde dönen yaylı tipte olanlarıdır (Önal, vd., 2014).

2.7 Endüstride Kullanılan Kırıcıların Karşılaştırılması

İnşaat sektöründe agrega üretimi; kayacın özellikleri ile kırıcının tipi, kırma işlemi, kırıcı hızı gibi parametrelerle doğrudan ilişkilidir. Ayrıca firmalar agrega üretiminde düşük enerji, yüksek kapasite ile az miktarda ince ürün içeren kübik şekilli malzemeler istemektedir.

Çizelge 8' de endüstride kullanılan kırıcıların performans ve enerji tüketimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 8. Endüstriyel kırıcıların güç ve performanslarının karşılaştırılması*

Boyut	İri Boyut			İnce Boyut			
	Döner	Çeneli	Darbeli	Konik			VSI
Kırıcı Tipi	METSO	SANDVIK	METSO	METSO	TELSMİTH	SANDVIK	METSO
Marka	METSO	SANDVIK	METSO	METSO	TELSMİTH	SANDVIK	METSO
Max. Besleme Boyutu (mm)	840	1120	1000	450	450	560	58
Max. Güç (kWh)	375	200	250	300	300	315	300
Max. Kapasite(t/h)	2350	1280	400	1000	585	1050	125-424

*Çizelgede kullanılan veriler, Metso (2008) Sandvik (2015) ve TelSmith (2011) firmalarına ait kataloglardan elde edilmiştir.

Çizelge 8’ de görüldüğü üzere, iri boyutta kırma için, en düşük enerji tüketimi 200 kWh ile çeneli kırıcıya aittir. Çeneli kırıcının döner kırıcıya kıyasla kapasitesi yarı yarıya düşük olsa dahi, aynı güçte bir çeneli kırıcının seçilmesi halinde döner kırıcı ile aynı kapasitede iş yapacağı görülmektedir.

Birinci kademe kırıcılar yüksek kapasite elde etmek yerine büyük parçaların kırılmasında öncelikli olarak kullanılır (Yıldız, 2014). Çeneli kırıcıya girecek olan maksimum besleme boyutu döner kırıcıya göre %34, darbeli kırıcıya göre de %12 daha büyüktür. Daha büyük güçte bir döner kırıcı seçilerek, çeneli kırıcı ile aynı besleme boyutunda malzeme üretilebilir. Ancak bu durumda, kırıcının harcayacağı enerji ve kapasitesi daha da artacaktır. Düşük kapasiteli tesislerde bu kırıcı zamanın çoğunda çalışmayacak ve harcayacağı enerji ile de ekonomik olmayacaktır.

Darbeli kırıcıların harcadıkları enerjiye göre kapasiteleri düşük olup, bu kırıcılar kırılacak malzeme için istenen özel şartlara (iç gerilimi olmayan, vb.) bağlı olarak kullanılmalıdır.

İnce boyutta kırma işleminde farklı firmaların, yaklaşık olarak aynı enerji tüketimine sahip olan kırıcıları görülmektedir. Ancak bu çizelgede, VSI’ a giren maksimum tane boyutu diğer kırıcılara nazaran daha küçüktür. Diğer kırıcılarla aynı enerji tüketimine sahip olsa da, boyut küçüldükçe kırma zorlaşacağından, bu durum VSI kapasitesinin düşük olmasına neden olmaktadır.

Üç farklı firmaya ait konik kırıcıların besleme boyutları ve enerji tüketimleri yaklaşık olarak aynıdır. Fakat Sandvik’ e oranla %5 daha düşük enerji tüketimi ve TelSmith’ e göre %70 daha yüksek kapasitesiyle Metso’ ya ait konik kırıcının ince boyutta kırma yapması daha uygundur.

3 SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, agrega üretiminde kullanılan kırıcılara ait kapasite,

performans ve enerji tüketimleri incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Endüstriyel olarak kullanılan kırıcılar genel olarak, döner, çeneli, konik, darbeli, dik milli (VSI) ve merdaneli kırıcılar şeklinde sınıflandırılmaktadır.

- Kübik şekilli malzeme üretmesi açısından VSI kırıcılar agrega üretiminde en çok kullanılan kırıcılardır. Bu kırıcılarda otojen kırma söz konusu olduğu için, aynı boyutta besleme yapılan kırıcılara göre enerji tüketimi daha düşüktür. Ancak tek dezavantajı çok fazla miktarda ince ürün üretmesidir. Bu kırıcıların çıkış açıklığı ile uyumlu kullanılan bir elek sayesinde sorun çözülmektedir.

- İnce ürün miktarının için boyut kontrolü sağlayan konik kırıcılar, üçüncü kırma kademesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kırıcılar dar ürün dağılımı vermesinin yanında, VSI’ lara nispeten daha düzensiz ürün oluşturmaları, agrega üretiminde ikinci sıraya düşmesine neden olmaktadır.

- Motor dönüş hızını kinetik enerjiye dönüştürerek kırma yapan darbeli kırıcılar ise, tane içindeki iç gerilmeleri yok ederek inşaat sektörü için uygun agrega üretebilmektedir.

- Birinci kademe kırıcı olarak çeneli kırıcıların kullanılması, yaptığı işe göre düşük enerji tüketiminden ve maksimum tane boyutundan dolayı diğer kırıcılara göre daha uygundur. Ancak yüksek boyut küçültme oranı (BKO) ile tek kademede malzemeyi ince boyutlara indirmek istenirse, darbeli kırıcılar da bu kademede kullanılabilir.

- İkinci kademe kırıcı olarak Metso firmasına ait konik kırıcı maksimum tane boyutu ve kapasite açısından en uygun kırıcı olup, üçüncü kademe kırma aşamasında ise VSI’ lar kullanılmalıdır.

- Kırıcıların ürettikleri ürün özellikleri ve harcadıkları güç çoğu durumda farklılık gösterse de, bu özellikleri en uygun şekilde

birleştirecek kırıcılar farklı firma kataloglarından belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

- Alexander, M., Mindess, S., 2005. Aggregates in concrete, Taylor&Francis.
- Bengtsson, M., Evertsson, C., 2006a. An empirical model for predicting flakiness in cone crushing. International Journal of Mineral Processing, 79 (1), 49-60.
- Bengtsson, M., Evertsson, C.M., 2006b. Measuring characteristics of ballast material from vertical shaft impact crushers. Journal of Minerals Engineering 19, 1479-1486.
- Bengtsson, M., Evertsson, C.M., 2008. Modelling of output and power consumption in vertical shaft impact crushers, Int.J.Miner.Process., 88, 18-23.
- Bond, F.C., 1952. The third theory of comminution. Trans. AIME 193, 484-494.
- Czarnecka, E.T., Gillott, J.E., 1982. Effect of different types of crushers on shape and roughness of aggregates, Cement, Concrete Aggregates, 4(1), 33-36.
- Eloranta, J., 1995. Influence of crushing process variables on the product quality of crushed rock, Tampere University of Technology, Tampere, 168.
- Ergin, Z., Semerkant, O., Cöcen, İ., 1998. Cevher Hazırlama-I (Laboratuvar ders notları ve deney föyleri), Dokuz Eylül Üni. Müh. Fak. Yay., No:169, 41.
- Evertsson, C.M., 2000. Cone crusher performance, Machine and Vehicle Design Chalmers University of Technology, s. 5-6.
- Hoşten, Ç., 2002. Cevher hazırlama ve zenginleştirme temel işlemlerinin tasarımı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- İpekoğlu, Ü., Tanrıverdi, M., 1997. Cevher Hazırlama, Dokuz Eylül Üni. Müh. Fak. Yay., No:238.
- Kaplan, M.F., 1959. Flexural and compressive strength of concrete as affected by properties of coarse aggregates. American Concrete Institute, 30 (11), 1193-1208.
- Lindqvist, M., 2008. Energy considerations in compressive and impact crushing of rock, Minerals Engineering, 21, s. 631-641.
- Masad, E., 2002. Aggregate imaging system (AIMS), The Transportation Research Board, Superpave Mixture/Aggregate Expert Task Group, August 28-29, Minneapolis, MN.
- Metso Minerals, 2008. Crushing and screening handbook, Third edition.
- Önal, G., Ateşok, G., Perek, K.T., 2014. Cevher hazırlama el kitabı, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, Yayınları, Ankara.
- Özdağ, H., 2000. Cevher Hazırlama-ı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Yayın no: TN20-001-HÖ.
- Öztürk, A.U., Erdem, R.T., Kozanoğlu, C., 2012. Investigation of Crushing Type of Concrete Aggregates on Mechanical Properties of Concrete, International Journal of Materials Engineering, 2(2), 6-9.
- Ramos, M., Smith, M.R., Kojovic, T., 1994. Aggregate shape: prediction and control during crushing. Quarry Management.
- Sandvik, 2015. Sandvik Mining Offering Guide January 2015.
- Tavares, L.M., King, R.P., 1998. Single-particle fracture under impact loading, International Journal of Mineral Processing, 54 (1), 1-28.
- Telsmith, 2011. Mineral Processing Handbook.
- Weiss, N.L., 1985. SME Mineral Processing Handbook-1, Society of Mining Engineers, New York.
- Yıldız, N., 2014. Cevher hazırlama ve zenginleştirme, Ertem Basım LTD.ŞTİ.

Beton, Asfalt ve Balast Agregaları
(Concrete, Asphalt and Ballast Aggregates)

Alkali Aktive Yüksek Fırın Cürüflü Betonların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Investigation of the Mechanical Properties of Concrete Containing Alkali-Activated Blast Furnace Slag

T. Yılmaz, F. Cihangir, B. Erçikdi

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET: Bu çalışmada Portland çimentosu (Kontrol) ve farklı aktivatör dozajlarında (%4, %6 ve %8 Na₂O) sodyum silikat (Na₂O.2SiO₂) ile yüksek fırın cürufu (YFC) aktive edilerek beton karışımları hazırlanmıştır. Karışımlar 150x150x150 mm boyutlu küp numune kalıplarına doldurulmuş ve 24 saat sertleşmesi için kalıpta bekletilmiştir. Kalıplardan çıkarılan numuneler 7, 28 ve 90 gün boyunca suda küre tabi tutulmuştur. Belirlenen kür süreleri sonunda Schmidt sertlik çekici (SSÇ), ultrasonik P- dalga hızı (UPV) ve tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) testleri yapılmış ve alkali aktive YFC'nin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Aktivatör dozajının artmasıyla SSÇ, UPV ve TEBD değerleri kür süresinden bağımsız olarak artış göstermiştir. Ayrıca kontrol numunesinin değerleri, %4 Na₂O aktivatör dozajında YFC'nin aktive edilerek hazırlandığı numunelere kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Fakat %6 ve %8 Na₂O dozajında tam tersi sonuçlar alınmıştır. Sonuç olarak alkali aktive YFC'li betonların kısa ve uzun dönem mekanik özelliklerinin daha güçlü olduğu açıkça gözlemlenmiştir.

ABSTRACT: In this study, concrete mixtures used Portland cement (Control) and alkali-activated Blast furnace slag (AA-BFS) with Sodium silicate at different activator dosages (4, 6 and 8 wt.% Na₂O) were prepared. Mixtures were poured into the cubic molds of 15x15x15mm and were left in mold to harden at 24 hours. Samples removed from the mold were cured in water during 7, 28 and 90 days of curing times. At the end of the curing times, Schmidt hammer hardness (SHH), ultrasonic pulse velocity (UPV) and unconfined compressive strength (UCS) tests were carried out and the effect of AA-BFS on the mechanical properties of concrete was investigated. The SHH, UPV and UCS values increased with increasing the activator dosage irrespective of the curing times. Control samples also produced higher values by comparison AA-BFS with 4 wt.% activator dosage. However, the opposite results were exactly obtained at 6 and 8 wt.%. As a result, it was determined that the short and long-term mechanical properties of AA-BFS concretes are more powerful.

1 GİRİŞ

Günümüzde inşaat, madencilik vb. sektörlerde yaygın olarak kullanılan betonun mekanik özelliklerinin (dayanım, duraylılık vb.) daha yüksek standartlarda olması ve çevresel kısıtlamalar (CO₂ emisyonu vb.) sebebiyle bağlayıcı olarak sadece Portland

çimentosu içeren betonların tercih oranı gittikçe azalmaktadır (Şahin vd., 2015).

Türkiye'de çimento üretimi 2014 yılı sonu itibarıyla yaklaşık 62 milyon ton düzeyinde gerçekleşmiştir (Çimento sektörü raporu, 2015). Bu üretimin büyük çoğunluğunun Portland çimentosu olduğu göz önünde bulundurulduğunda bir ton Portland

çimentosu üretilirken 2,5 ton hammadde tüketimi ve atmosfere yaklaşık 1ton CO₂ salınımı meydana gelmektedir. Portland çimentosunun üretimi esnasında yıllık yaklaşık 1,35x10⁹ m³ CO₂ emisyonu olmakta ve bu oranın toplam sera gazının %7'sine karşılık geldiği tahmin edilmektedir (Chindapasirt vd., 2010; Guo vd., 2010; Habert vd., 2011; Shi vd., 2012; Yaprak vd., 2015). Bu yüzden çimentoya belirli oranlarda çimento ile eşdeğer inceliğe sahip başka bir malzeme ikamesi ile elde edilen betonlar veya hiç çimento içermeyen bağlayıcılarla üretilen betonlar kullanılmaya başlamıştır. Son yıllarda özellikle ikinci grupta belirtilen çimento içermeyen, yani yüksek fırın cürufu, uçucu kül gibi puzolanik özelliğe sahip malzemelerin çeşitli kimyasallar yardımıyla aktifleştirilerek beton üretilmesi hız kazanmıştır (Gartner, 2004; Škvára, 2007; Şahin vd., 2015).

Çimento ve beton sektöründe yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül (UK) ve metakaolen gibi alkali aktive edilmiş puzolanik malzemeler çimentoya alternatif olarak kullanılmaktadır (Atis vd., 2009; Bondar vd., 2011; Cihangir vd., 2012). YFC'nin en önemli avantajı yüksek duraylılık ve düşük hidrasyon ısısına sahip olmasıdır (Bilim vd., 2013). YFC, UK vb. puzolanik özelliği bulunan malzemelerin aktive edilmesinde Sodyum silikat çözeltisi, sodyum karbonat, sodyum hidroksit, potasyum karbonat ve sodyum metasilikat gibi aktivatörler yaygın olarak kullanılmaktadır (Bakharev vd., 1999; Xu vd., 2002; Bougara vd., 2009). Alkali aktivasyon sürecinde, aktivatör tipi ve dozajı, cürufun yüzey alanı, kür sıcaklığı (Fernandez-Jimenez vd., 1999) ve modül oranı (Krizan ve Zivanovic, 2002; Atis vd., 2009) gibi parametrelerin oldukça önemli olduğu yazarlar tarafından bildirilmiştir Shi ve Fernandez-Jimenez (2006) alkali aktive bağlayıcıların mükemmel mekanik özellikler gösterdiklerini, daha düşük poroziteli mikroyapıya sahip olduklarını ve agresif ortamların saldırılarına karşı iyi direnç gösterdiklerini belirtmiştir. Ayrıca, bu bağlayıcıların bağlayıcı maliyetlerini Portland çimentosu maliyetinin yarısına

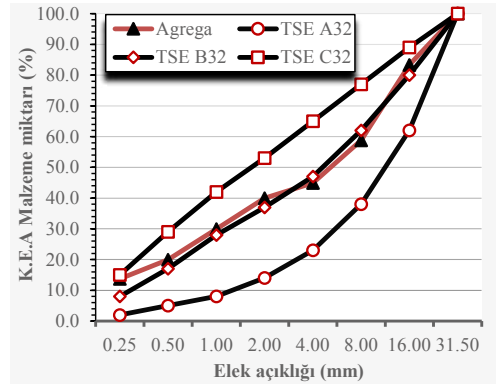
kadar azaltılabileceği bildirilmiştir (Cincotto vd., 2003).

Bu çalışmada Portland çimentosu ve farklı aktivatör dozajlarında (%4, %6 ve %8 Na₂O) sodyum silikat (Na₂O.2SiO₂) ile yüksek fırın cürufu aktive edilerek beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 7, 28 ve 90 gün boyunca suda küre tabi tutulmuştur. Kürünü tamamlayan numunelerin Schmidt sertlik çekici testi, ultrasonik P- dalga hızı testi ve tek eksenli basınç dayanımı testleri yapılmış ve alkali aktive bağlayıcıların beton numunelerinin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Malzemeler

Beton karışımlarında 3 farklı (0-8 mm, 8-16 mm ve 16-31,5 mm) tane boyutu sınıfında bazalt agregası kullanılmıştır. Agreganın elek analizi sonuçlarına göre hazırlanan granülometri eğrisi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Agreganın granülometri eğrisi

Beton numunelerinde bağlayıcı malzeme olarak Aşkale Çimento A.Ş. Trabzon Çimento fabrikasından getirtilen Portland çimentosu (CEM I 42,5R), Kardemir demir-çelik fabrikasından temin edilen yüksek fırın cürufu ve aktivatör olarak farklı dozajlarda (%4, %6 ve %8 Na₂O) Sodyum silikat (Na₂O.2SiO₂) kullanılmıştır. Yüksek fırın cürufu Portland çimentosunun inceliğine eşdeğer olması için bilyalı değirmende

öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Aktivatör olarak kullanılan Sodyum silikatin modül oranı '2' olduğu için modül oranını azaltmak için sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan bağlayıcı malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bağlayıcı malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	CEM I 42,5R (%)	Yüksek Fırın Cürufu (%)
Kimyasal bileşim		
SiO ₂	20,57	40,44
Al ₂ O ₃	4,81	11,67
Fe ₂ O ₃	3,67	0,66
MgO	1,35	6,00
CaO	65,27	36,42
Na ₂ O	0,41	0,28
SO ₃	2,97	1,62
K ₂ O	0,85	1,25
TiO ₂	0,45	1,01
P ₂ O ₅	0,13	<0,01
MnO	0,11	2,01
Cr ₂ O ₃	0,075	0,007
Serbest CaO	1,19	-
Kızdırma kaybı	2,1	0,20
Toplam	99,90	99,87
Fiziksel özellikler		
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,14	2,89
Özgül yüzey (cm ² /g)	4120	4600
45 µm elek bakiyesi (%)	2,17	4,15
32 µm elek bakiyesi (%)	7,48	9,6

2.2 Yöntem

Beton karışımlarının hazırlanması aşamasında ilk önce 350 kg/m³ bağlayıcı dozajında sadece Portland çimentosu (%100; Kontrol numunesi) kullanılmıştır. Daha sonra aynı bağlayıcı dozajında olacak şekilde 3 farklı aktivatör dozajında (%4, %6 ve %8 Na₂O) Sodyum silikat (Na₂O.2SiO₂) kullanılarak yüksek fırın cürufu beton numuneleri üretilmiştir (Tablo 2). Beton numunelerinin su/çimento oranı 0,55 olarak seçilmiştir.

Farklı karışım özellikleri ve her kür süresi için 3'er adet olmak üzere toplam 36 adet beton numunesi hazırlanmış ve 150x150x150 mm boyutlu küp kalıplara doldurulmuştur. (Şek. 2a). Karışımlar kalıplara doldurulurken standartlara uygun olacak şekilde 25'er adet

şişleme yapılarak mümkün olduğunca sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler 24 saat kalıpta bekletildikten sonra çıkarılmış ve 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri boyunca suda kür işlemine tabi tutulmuştur (Şek. 2b).

Tablo 2. Beton numunelerine ait karışım özellikleri

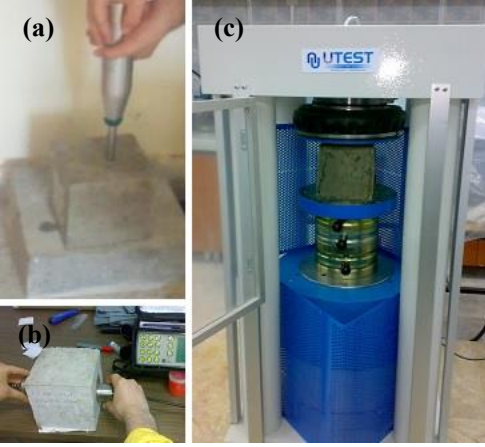
Karışım Özellikleri	Kontrol Numunesi	Yüksek Fırın Cürufu		
Aktivatör Dozajı (%)	0	4	6	8
Su/çimento oranı	0,55	0,55	0,55	0,55
Su (g)	192,5	192,5	192,5	192,5
Çimento	350	-	-	-
Yüksek Fırın Cürufu	-	350	350	350
Agrega (g)				
0-8 mm	341,1	341,1	341,1	341,1
8-16 mm	136,4	136,4	136,4	136,4
16-31,5 mm	204,6	204,6	204,6	204,6



Şekil 2. Beton numunelerinin kalıplara doldurulması (a) ve suda kür işlemi (b)

Beton numunelerinin Schmidt çekici sertliği (SHV) değerini belirlemek için kullanılan Schmidt sertlik çekici testi 36 adet küp beton numunesi üzerinde ASTM C 805 (2013) yöntemine göre N tipi sertlik çekici ile düşey-aşağı yönlü olarak gerçekleştirilmiştir (Şek. 3a). SHV testinin ardından beton numuneleri, ASTM C597-16 (1993) standartlarına uygun olarak 0,1µs hassaslıkta sinyal süresine ve 54 kHz sinyal frekansına sahip Pundit-Plus model test cihazı ile P-dalga hızı (UPV) testine tabi tutulmuştur (Şek. 3b). Ölçüm yapılacak numunenin alt ve üst yüzeyleri ile alıcı ve gönderici jeofon arasında sağlıklı bir bağlantı kurmak ve hava boşluklarını engellemek için betonun ölçüm yapılacak yüzeyleri vazelin ile kaplanmıştır. Alınan okumalar sonucunda en düşük geçiş süresi test sonucu olarak kaydedilerek

ultrasonik P- dalga hızı belirlenmiştir. Son olarak beton numuneleri ASTM C109 (1993) standartlarına uygun olarak 3000 kN maksimum yük kapasitesine ve 1kN/s

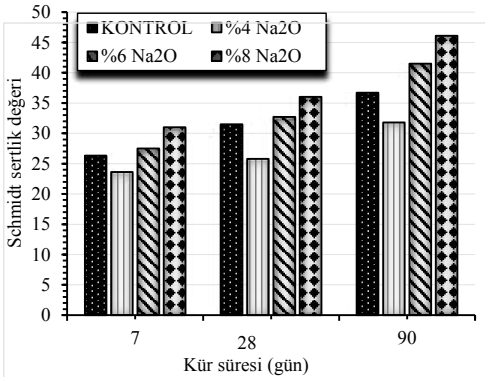


yükleme hızına sahip ELE marka bilgisayar kontrollü basınç ve deformasyon ünitesinde tek eksenli basınç dayanımına (TEBD) tabi tutulmuştur (Şek. 3c).

Şekil 3. Beton numunelerinin SHV (a), UPV (b) ve TEBD testinin (c) görünümü

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

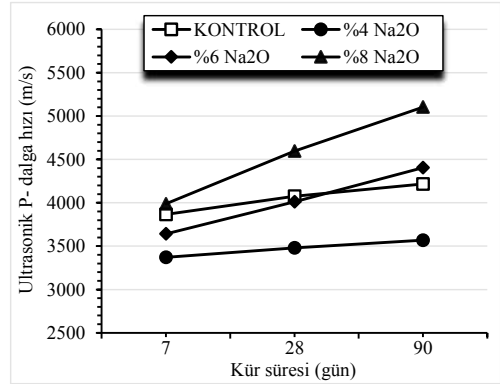
Sadece Portland çimentosu (CEM I 42,5R: Kontrol) ve farklı aktivatör dozajlarında (%4, %6 ve %8 Na₂O) Sodyum silikat (Na₂O.2SiO₂) ile yüksek fırın cürufunun (YFC) aktive edilmesiyle hazırlanan beton numunelerinin 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda gerçekleştirilen Schmidt sertlik çekici testi sonuçları Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Beton numunelerinin SHV testi sonuçları

Kontrol numunesinin ve farklı aktivatör dozajlarında (%4, %6 ve %8 Na₂O) Sodyum silikat (Na₂O.2SiO₂) ile yüksek fırın cürufunun (YFC) aktive edilmesiyle hazırlanan numunelerin sertlik değerleri bütün kür sürelerinde artmıştır. Ayrıca yüksek fırın cürufunun aktive edildiği numunelerde aktivatör dozajı artırılmasıyla numunelerin sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde sadece %4 Na₂O aktivatör dozajında hazırlanan beton numunelerinin bütün kür sürelerinde kontrol numunelerinin sertlik değerini geçemediği görülmüştür. %6 ve %8 Na₂O aktivatör dozajında YFC ile hazırlanan beton numuneleri kontrol numunesine kıyasla sırasıyla 7 günde %4,5-18, 28 günde %4-39,5 ve 90 günde %13-45 oranlarında daha yüksek sertlik değeri üretmiştir (Şek. 4).

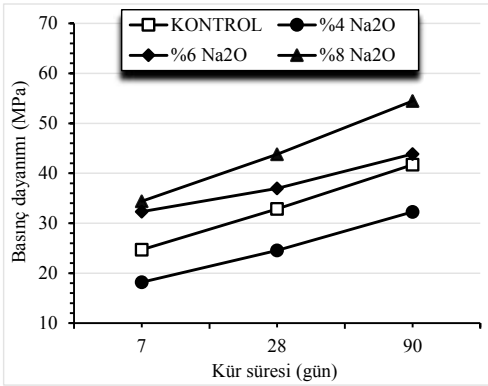
Şekil 5'te kontrol numunesi (Portland çimentosu) ve farklı aktivatör dozajlarında YFC'nin sıvı Sodyum silikat (Na₂O.2SiO₂) ile aktifleştirilmesi sonucu hazırlanan beton numunelerinin 7, 28 ve 90 gün sonunda ölçülen ultrasonik P- dalga hızı (UPV) sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 5. Beton numunelerinin :UPV sonuçları Kontrol numunesinin ve yüksek fırın cürufu ile hazırlanan numunelerin UPV değerleri kür süresinin artmasıyla artmıştır. Bağlayıcı hidratasyonu ile oluşan C-S-H jelleri agregre taneleri arasındaki boşlukların dolmasını ve beton örneklerinin sertlik kazanmasını

sağlar. Ayrıca beton numunesinin sertlik kazanma gelişimine betonun kendi ağırlığı ile konsolide olması (sıkışması), kuruması ve bünyesindeki suyun buharlaşması katkıda bulunabilir (Yılmaz vd., 2014). Kontrol numunesinin UPV değerleri 7 ve 28 günde %4 ve %6 Na₂O aktivatör dozajlarında hazırlanan beton numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır. Fakat %6 aktivatör dozajında 90 günlük kür süresi sonunda ve %8 aktivatör dozajında bütün kür sürelerinde UPV değerlerinin kontrol numunesini geçtiği açıkça görülmektedir. Ayrıca YFC'li numunelerde de aktivatör dozajı artırıldığında kür süresinden bağımsız olarak ultrasonik P- dalga hızının arttığı belirlenmiştir (Şek. 5).

Yüksek fırın cürufunun farklı aktivatör dozajlarında (%4, %6 ve %8 Na₂O) sıvı ile aktifleştirilmesi sonucu hazırlanan beton numunelerinin kontrol (Portland çimentosu) numunesi ile farklı kür sürelerindeki (7, 28 ve 90 gün) tek eksenli basınç dayanımlarının (TEBD) karşılaştırıldığı grafik Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Beton numunelerinin TEBD sonuçları

Numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde bütün karışım özelliklerinde kür süresinin artmasıyla numunelerin basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Yüksek fırın cürufunun aktive edilmesiyle üretilen beton numunelerinde aktivatör dozajının artmasına paralel olarak basınç dayanımları da artmıştır. Kontrol numunesi bütün kür

sürelerinde %4 Na₂O aktivatör dozajlı YFC numunelerinden daha yüksek basınç dayanımı üretirken, %6 ve %8 Na₂O dozajlı Sodyum silikat (Na₂O.2SiO₂) ile aktive edildiğinde numunelerin basınç dayanımlarının bütün kür sürelerinde kontrol numunesini geçtiği açıkça görülmektedir (Şek. 6). Cihangir vd. (2015) farklı Na₂O (%6, %8 ve %10) konsantrasyonlarında alkali aktive cüruf ile hazırlanmış olduğu macun dolgu numunelerinin Portland çimentosu ile hazırlanmış olduğu numunelere kıyasla 1,5-3,5 kat daha yüksek basınç dayanımı ürettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca alkali aktivatör dozajının %6'dan %8'e artırıldığında macun dolgu numunelerinin kısa ve uzun dönem basınç dayanımlarının büyük bir artış sağladığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmadaki benzer sonuçlar da aktivatör konsantrasyonunun artmasıyla hidrasyon derecesi ve puzolanların çözünmesinin hızlanması (Acevedo-Martinez vd., 2012; Bondar vd., 2011; Zhang vd., 2011) ile açıklanabilir.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada Portland çimentosu (Kontrol numunesi) ve farklı aktivatör dozajlarında (%4, %6 ve %8 Na₂O) sıvı Sodyum silikat (Na₂O.2SiO₂) ile yüksek fırın cürufu aktive edilerek beton karışımları hazırlanmıştır. Karışım içerisinde üç farklı boyut sınıfında (0-8 mm, 8-16 mm ve 16-31,5 mm) bazalt agregası kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar 150x150x150 mm boyutlu küp numune kalıplarına doldurulmuş, 24 saat sertleşmesi amacıyla kalıpta bekletilmiş ve ardından kalıplardan çıkarılarak 7, 28 ve 90 gün boyunca suda küre tabi tutulmuştur. Önceden belirlenen kür süreleri sonunda Schmidt sertlik çekici testi, ultrasonik P- dalga hızı testi ve tek eksenli basınç dayanımı testleri yapılmış olan beton numunelerine ait sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Bütün numunelerin Schmidt sertlik çekici, ultrasonik P- dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri kür süresinin artmasıyla birlikte artmıştır.
- Genel olarak kontrol numunesinin değerleri, %4 Na₂O aktivatör dozajında

YFC'nin aktive edilerek hazırlandığı numunelere kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Fakat %6 ve %8 Na₂O konsantrasyonlarında tam tersi durum gerçekleşmiştir.

- Aktivatör dozajının artmasıyla Schmidt çekici sertliği, ultrasonik P- dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri kür süresinden bağımsız olarak artış göstermiştir.

Sonuç olarak Portland çimentosu kullanımı yerine uygun aktivatör dozajlarında YFC'nin aktifleştirilmesiyle hazırlanan beton numunelerinin kısa ve uzun dönem mekanik özelliklerinin (Schmidt çekici sertliği, ultrasonik P- dalga hızı ve tek eksenli basınç dayanımı) daha güçlü olacağı açıkça gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Acevedo-Martinez, E, Gomez-Zamorano, L.Y, Escalante-Garcia, J.I, 2012. Portland cement-blast furnace slag mortars activated using waterglass: – Part1: Effect of slag replacement and alkali concentration, *Construction and Building Materials*, 37, 462–469.
- ASTM C109, 1993. Standard test method for unconfined compressive strength of hydraulic cement mortars, *Annual Book of ASTM Standards*, American Society of Testing Material.
- ASTM C597-16, 1993. Standard test method for pulse velocity through concrete, *Annual Book of ASTM Standards*, American Society of Testing Material.
- ASTM C805, 2013. Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, *Annual Book of ASTM Standards*, American Society of Testing Material.
- Atis, C.D, Bilim, C, Celik, O, Karahan, O, 2009. Influence of activator on the strength and drying shrinkage of alkali-activated slag mortar, *Construction and Building Materials*, 23, 1, 548–555.
- Bakharev, T, Sanjayan, J.G, Cheng, Y.B, 1999. Alkali activation of Australian slag cements, *Cement and Concrete Research*, 29, 1, 113–120.
- Bilim, C, Karahan, O, Atis C.D, Ilkentapar, S, 2013. Influence of admixtures on the properties of alkali-activated slag mortars subjected to different curing conditions, *Materials and Design*, 44, 540–547.
- Bondar, D, Lynsdale, C.J, Milestone, N.B, Hassani, N, Ramezani-pour, A.A, 2011. Effect of type, form, and dosage of activators on strength of alkali-activated natural pozzolans, *Cement and Concrete Research*, 33, 2, 251–260.
- Bougara, A, Lynsdale, C, Ezziane, K, 2009. Activation of Algerian slag in mortars, *Construction and Building Materials*, 23, 1, 542–547.
- Chindapasirt, P, Chareerat, T, Hatanaka, S, Cao, T, 2010. High-strength geopolymer using fine high-calcium fly ash, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23, 3, 264–270.
- Cihangir, F, 2011. Investigation of utilisation of alkali activated blast furnace slag as binder in paste backfill, Ph.D. thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, p. 207 (in Turkish).
- Cihangir, F, Ercikdi, B, Kesimal, A, Deveci, H, Erdemir, F, 2015. Paste backfill of high-sulphide mill tailings using alkali-activated blast furnace slag: Effect of activator nature, concentration and slag properties, *Minerals Engineering*, 83, 117–127.
- Cincotto, M.A, Melo, A.A, Repette, W.L, 2003. Effect of different activators type and dosages and relation to autogenous shrinkage of activated blast furnace slag cement. 11th International Congress on the Chemistry of Cement, pp. 1878–1887, Durban, South Africa,
- Çimento Sektörü Raporu, 2015. Sektörel Raporlar ve Analizler Serisi, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Genel Müdürlüğü, pp. 15.
- Fernandez-Jimenez, A, Palomo, J.G, Puertas, F, 1999. Alkali-activated slag mortars: mechanical strength behavior, *Cement and Concrete Research*, 29, 8, 1313–1321.
- Gartner, E, 2004. Industrially interesting approaches to “low-CO₂” cements, *Cement and Concrete Research*, 34, 9, 1489–1498.
- Guo, X, Shi, H, Dick, W.A, 2010. Compressive strength and microstructural characteristics of class C fly ash geopolymer Cement and Concrete Composites, 32, 2, 142–147.
- Habert G, D’Espinose Lacaillerie, J.B, Roussel N, 2011. An environmental evaluation of geopolymer based concrete production: reviewing current research trends, *Journal of Cleaner Production*, 19, 11, 1229–1238.
- Krizan, D, Zivanovic, B, 2002. Effects of dosage and modulus of water glass on early hydration of alkali-slag cements, *Cement and Concrete Research*, 32, 8, 1181–1188.
- Shi, C, Fernandez-Jimenez, A, 2006. Stabilization/solidification of hazardous and radioactive wastes with alkali-activated cements, *Journal of Hazardous Materials*, 137, 3, 1656–1663.
- Shi, X.S, Collins, F.G, Zhao, X.L, Wang, Q.Y, 2012. Mechanical properties and microstructure analysis of fly ash geopolymeric recycled

- concrete, *Journal of Hazardous Materials*, 237, 20–29 ().
- Škvára, F, 2007. Alkali activated materials or geopolymers, *Ceramics-Silikaty*, 51, 3, 173–177.
- Şahin, M, Mahyar, M, Erdoğan, S.T, 2015. Afşin Elbistan Uçucu Külü ve Yüksek Fırın Cürufu İçeren Çimentosuz Bağlayıcılar Hazırlanması, 9. Ulusal Beton Kongresi, pp. 181-189, 16-18 Nisan, Antalya, Türkiye.
- Xu, H, Deventer, J.S.J, Jannie, S.J, 2002. Geopolymerisation of multiple minerals, *Minerals Engineering*, 15, 12, 1131–1139.
- Yaprak, H, Kaplan, G, Demir, İ, 2015. Alkalilerle Aktive Edilmiş Taban Külü Ve Yüksek Fırın Cürufu Esaslı Harçların Mekanik Özellikleri, 2nd International Sustainable Buildings Symposium, pp. 181-189, 28-30 Mayıs, Ankara, Türkiye.
- Yılmaz, T, Erçikdi, B, Kantarcı, O, Külekçi, G, 2014. Numune boyutunun mineral katkı maddesi içeren macun dolgunun dayanımına ve ultrasonik özelliklerine etkisi, XI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, pp. 193-203. 7-9 Mayıs, Afyonkarahisar, Türkiye.
- Zhang, L, Ahmari, S, Zhang, J, 2011. Synthesis and characterization of fly ash modified mine tailings-based geopolymers, *Construction and Building Materials*, 25, 3773–3781.

Beton Üretiminde En Uygun Agregata Karışımının İstatistiksel Deneysel Tasarımı Yöntemi ile Belirlenmesi

Determination of Optimal Aggregate Blending With Design of Experiment in Concrete Production

D. Adıgüzel, A. Başçetin, S. Tüylü

İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET Günümüzde yapı malzemesi olarak yaygın bir biçimde kullanılan betonun kalitesi karışımdaki malzemelerin özellikleriyle doğrudan ilgilidir. Beton; agregata, su ve çimento malzemesinin uygun oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulur. İstenilen kalitede bir beton elde edebilmek için karışımında kullanılan malzemelerin hacimsel olarak belirli miktarlarda olması gerekmektedir. Betonun kullanım alanına bağlı olarak sahip olması gereken dayanıma, beklenen teknik ömrü ve benzeri diğer bazı sahip olması gereken özelliklere göre bu oranlar değişmektedir. Betonun hacimce yaklaşık yüzde 75'ini agregata oluşturmaktadır. Bu nedenle betonun özellikleri, içerisindeki agregata ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada; farklı kayalar türleriyle beton agregatası üretimi yapan İstanbul bölgesindeki bir taşocakında, ürün kalitesinin sürekliliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda istatistiksel deneysel tasarımı yöntemi kullanılarak beton üretiminde farklı tür agregata kullanımının beton özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve farklı oranlarda farklı tür agregata kullanımı durumunda beton özelliklerinin tahminine yönelik ampirik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Sonuç olarak incelenen saha için en uygun ürün karışımları oluşturulmuştur.

ABSTRACT Concrete is a widely used construction material. The properties of the concrete are directly related to the properties of the materials in its blending. It contains the appropriate amount of aggregate, cement, and water. The volumetric amount of components, which are used for concrete production, must be determined to obtain the requested quality. However, the strength and endurance of the construction depends on the ratio of the components. The quantity of aggregates in concrete is approximately 75 % of the concrete's volume. Therefore, the most important parameter which affects the quality of concrete is the properties of blended materials of aggregates. In this research, providing the sustainability of production quality was aimed for a quarry which are located in Istanbul region and producing concrete aggregates with different types of rock. In this context, design of experiment method was used in order to investigate the effects of different types of aggregates on the properties of concrete and empirical approaches were developed to estimate the properties of concrete in case of using different types of aggregates with different proportions. As a result of the study, it was obtained the optimal blending material.

1 GİRİŞ

Sanayileşme ve nüfus artışının gerektirdiği ihtiyaçların karşılanması için artan yapı faaliyetleri sonucunda yapı malzemeleri ihtiyacı da aynı doğrultuda artmıştır.

Tüketim miktarı açısından bakıldığında beton en çok kullanılan yapı malzemesidir. Betonun özellikleri, karışımda en çok kullanılan malzeme olan agregata ile doğrudan ilişkilidir. Agregaların özellikleri ise,

agregaların üretildikleri kaynağa ve üretim şekline bağlı olarak değişmektedir. Kayaçlar, bir mühendislik malzemesi olmadıkları için genellikle bir süreklilik arz etmezler. Aynı kaynaktan veya ocakta, aynı formasyon içerisinde bile farklı derinliklerde kayaç özelliklerinde değişimler gözlenebilmekte ve bir agrega kaynağının bütün bölümlerinde kayaç özellikleri aynı olmamaktadır. Bu nedenle taşocaklarındaki en önemli sorunlardan biri malzeme kalitesinin devamlı olarak değişmesidir. Böylece beton santraline beslenen malzemelerin kalitesi değişmekte ve üretilen betonun özellikleri doğrudan etkilenmektedir. Bu sorunun çözümü için kaynaktan üretilen farklı tip agregaların beton kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmalı ve bun bağlı olarak iyi bir ocak optimizasyonu yapılmalıdır (Bascetin ve Adiguzel, 2011; Bascetin vd., 2011; Adiguzel vd. 2011).

Literatürde farklı özellikte bileşenlerin karışımından oluşan malzemelerin optimizasyonunda, hem deney sayısını azaltması hem de karışımından oluşan malzemelerin optimizasyonunda kullanılabilmesi nedeniyle genellikle İstatistiksel Deney Tasarımı (İDT) karışım dizaynı yöntemi kullanılmaktadır. İDT, 1920 yılında Ronald Fisher tarafından geliştirilmiştir. İlk olarak tarım alanında kullanımı yaygınlaşan bu teknik daha sonra hayvancılık, eczacılık, mühendislik gibi birçok alanda kullanım alanı bulmuştur (Antony, 2003; Şenoğlu ve Acıtaş, 2010; Çömlekçi, 2003). Karışım dizaynı yöntemi ise İDT'nin bir kolu olup, bu metotta ürünün özellikleri ile ürünü oluşturan bileşen oranları arasındaki ilişki incelenmekte ve ürünün özellikleri üzerinde hangi bileşenlerin daha etkili olduğuna karar verilmektedir. Karışım dizaynı ile ilgili çalışmalar 1953 yılında Quenouille tarafından başlatılmış ve Scheffe'nin 1958 yılındaki makalesi tüm çalışmalara öncülük etmiştir. Scheffe 1958 yılında simpleks kafes tasarımını ortaya koymuş, 1962 yılında Gorman ve Hinman simpleks kafes tasarımını geliştirmiş ve 1963 yılında ise Scheffe simpleks merkez tasarımını ortaya koyarak karışım dizaynının temellerini

atmıştır. (Scheffe, 1958; Scheffe, 1963). Beton optimizasyonunda da İDT karışım dizaynı sıklıkla kullanılan bir yöntem olmaktadır. Ding ve diğ. (1999) tarafından yapılan bir çalışmada, İDT karışım dizaynı ekstrem köşe tasarım yöntemi ile mineral katkı betonların karışım oranlarının optimizasyonu ortaya konulmuştur. Bayramov ve diğ. (2005) tarafından yapılan başka bir çalışmada, beton üretiminde kullanılan çelik tel içeriğinin, eğilme halinde çelik tel donatılı betonun kırılma parametrelerine etkisi İDT karışım dizaynı yöntemi kullanılarak araştırılmış ve bu parametreler optimize edilerek daha düşük maliyetli beton elde edilebileceği ortaya konulmuştur. Akalın ve diğ. (2010) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, İDT karışım dizaynı yöntemi ile kendiliğinden yerleşen yüksek dayanımlı beton optimizasyonu yapılmıştır. Chen ve diğ. (2011) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, ince agrega yerine atık sıvı kristal cam kumu kullanarak oluşturulan yüksek performanslı geri dönüştürülmüş sıvı kristal cam betonun optimizasyonu İDT karışım dizaynı yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Bu çalışmada beton agregası üretimi yapan ve İstanbul'da faaliyetlerini sürdüren bir taşocağında, farklı agrega türlerinin beton özellikleri üzerinde etkisinin tespiti amacıyla, İDT karışım dizaynı kullanılarak beton örnekler hazırlanmış ve bu örnekler üzerinde betonun basınç dayanımını belirlemeye yönelik deneyler yapılmıştır. Buna göre farklı formasyonlardan üretilen agregaların beton üretiminde farklı oranlarda kullanılması halinde betonun basınç dayanımını ne ölçüde etkileneceği belirlenmiştir. Ayrıca farklı formasyonların beton üretiminde farklı oranlarda birlikte kullanımı halinde, betonun basınç dayanımının tahmininde kullanılabilir ampirik formüller geliştirilmiş ve en uygun karışım ortaya konulmuştur. Böylece, beton kalitesini etkileyen çok sayıda değişkenin, karışım içerisindeki oranlarının optimum değerlerinin belirlenmesinde hızlı, güvenilir ve ekonomik bir yöntem geliştirilmiş, istenen özellikte betonun elde edilmesinde yapılacak deney sayısı azaltılmıştır.

2 YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında İstanbul Çatalca bölgesinde beton üretimine yönelik kireçtaşı agregası üreten bir taşocağı çalışma sahası olarak belirlenmiştir. Çalışılan sahaya ait jeoloji ve üretime ait bilgiler gerek yerinde yapılan çalışmalar gerekse önceki çalışmalar yardımıyla belirlenmiştir. Yapılan gözlem ve incelemeler sonucunda, farklı formasyonda olduğu düşünülen 3 farklı bölge belirlenmiştir ve bu bölgelerden örnek kayalık numuneleri alınmıştır. Bu bölgeler Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Numune alınan bölgeler (Adıgüzel,2012)

Şekil 1 de görülen 3 farklı bölgeden blok halinde kayalık numuneleri alınmış ve laboratuvara getirilen numuneler laboratuvar ortamında agrega ürün boyutuna (0-4 mm, 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm tane boyut aralıklarına sahip) getirilmiştir. Bu numunelerden alınan ince kesitler üzerinde yapılan petrografik analizler sonucunda kayalık tipleri belirlenmiştir. Buna göre; 1. bölgeden alınan numunelerin fosilli kireçtaşı olduğu, 2. bölgeden alınan numunelerin de fosilli kireçtaşı olduğu fakat içerdiği kil miktarının fazla olduğu ve 3. bölge’den alınan numunelerin yine fosilli kireçtaşı olduğu fakat içerdiği kil miktarının oldukça az olduğu yapılan petrografik analizler sonucunda belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında farklı tür agregaların beton özellikleri üzerinde etkisinin tespiti amacıyla, istatistiksel deney tasarımı kullanılarak farklı bölgelerden

üretilen agregalar ile beton örnekler hazırlanmış ve bu örnekler üzerinde beton basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Buna göre beton üretiminde kullanılacak deney tasarımı karışım dizaynı yapılmıştır. Karışım dizaynı modeli olarak hem doğrusal hem de kuadratik yaklaşıma uygun olan simpleks merkez yöntemi seçilmiştir. Böylece farklı agrega kullanımı açısından agregaların birbirlerinden etkileşiminin etkisi de belirlenmeye çalışılmıştır. Söz konusu sahadan alınan 3 farklı agrega için beton üretiminde kullanılacak 3 adet 2’ li karışım dizaynı, 1 adette üçlü karışım dizaynı oluşturulmuştur. İkili karışımlar için hazırlanan karışım dizaynı Çizelge 1’de, üçlü karışımlar için hazırlanan karışım dizaynı ise Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1 Beton üretiminde ikili agrega karışım dizaynı

Sıra no	i.Bölge	j.Bölge
1	0,50	0,50
2	0	1
3	1	0
4	0,25	0,75
5	0,75	0,25
6	0,25	0,75
7	0	1
8	0,75	0,25
9	0,50	0,50
10	1	0

Çizelge 2. Beton üretiminde üçlü agrega karışım dizaynı

Sıra no	i.Bölge	j.Bölge	k.Bölge
1	0	0	1
2	0	1	0
3	1	0	0
4	0,5	0,5	0
5	0	0,50	0,5
6	0,5	0	0,5
7	0,33	0,33	0,33

Buna göre ikili karışımlar için 10’ar adet üçlü karışımlar içinse 7’şer adet beton karışımı oluşturulması gerekmektedir.

Çizelge 1 ve 2'deki rakamlar beton üretiminde kullanılacak agregaların karışım içerisinde alması gereken oranları vermektedir. Bir örnekle açıklayacak olursak, Çizelge 1 İlk satırı, beton üretimi sırasında i.bölgeden üretilen agregadan %50 oranında, j. bölgeden üretilen agregadan ise yine %50 oranında karıştırılması gerektiği anlamına gelmektedir.

Bu çalışma kapsamında toplam 13 adet (Çizelge 1 ve 2' deki 4 adet karışım aynı) beton karışımı hazırlanmıştır. Karışım hesaplamalarında mutlak hacim metodu kullanılmış ve tüm karışımlardaki çimento miktarı sabit tutulmuştur (400 kg/m³). Karışımlarda CEM I tipi katkısız çimento kullanılmıştır. Ayrıca su/çimento oranı tüm karışımlarda 0,54 ve slump değeri 9-10 arasında olacak şekilde karışım dizaynları oluşturulmuştur. Beton karışım tasarımı yapılırken yaygın kullanım alanına sahip C30 sınıfında geleneksel tip beton üretimi amaçlanmış ve karışımdaki oranlar deneme betonları hazırlanarak doğrulanmıştır. Her karışımdan 6 adet (15x15x15 cm) boyutlarında küp numuneler hazırlanmış, kür tankında 7 ve 28 gün kürlenmiş ve kürlenmiş numuneler üzerinde TS EN 12390-3 deney standartına göre basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca her karışımın slump değeri çalışma kapsamında TS EN 12350-2 standartına göre belirlenmiştir.

3 BULGULAR

Bu çalışma kapsamında Çizelge 1 ve 2'deki agrega karışım oranları kullanarak toplam 13 adet beton karışımı hazırlanmış ve Çizelge 3'de bu karışımların slump ve basınç dayanım değerleri verilmiştir.

Çizelge 3'den de görüldüğü gibi farklı oranlarda agrega kullanılarak hazırlanan betonların basınç dayanım sonuçlarının değişimleri oldukça uyumludur. Basınç dayanımı açısından en yüksek değeri 2.bölge agregasının %25, 3.bölge agregasının ise %75 oranlarında kullanıldığı karışım vermiştir.

4 İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIMI MODEL ÇÖZÜMLERİ

Bu çalışma kapsamında yapılan istatistiksel analizler sonucunda, farklı özellikte agrega kullanımının, beton malzemenin basınç dayanımına etkisi belirlenmiş ve karışımlarda kullanılan farklı agrega oranlarına göre beton özelliklerinin tahmininde kullanılacak ampirik formüller geliştirilmiştir. Değerlendirmeler sırasında karışım deney sonuçları doğrusal, karesel, üçüncü dereceden ve dördüncü dereceden modeller kurularak değerlendirilmiş ve F test istatistiği kullanılarak modellerin etki dereceleri belirlenmiştir.

Çizelge 3. Hazırlanan beton karışımlarına ait ortalama slump ve basınç dayanımı değerleri

Karışım	Slump (cm)	Basınç	Basınç
		Dayanımı (7 Günlük) MPa	Dayanımı (28 Günlük) MPa
1.bölge	9	24,95	29,1
2.bölge	9	24,85	29,35
3.bölge	10	29,20	34
%50 1. Bölge + %50 2. bölge	10	27,10	31,7
%25 1. Bölge + %75 2. bölge	9	28,05	33,95
%75 1. Bölge + %25 2. bölge	9	22,95	27,5
%50 1. Bölge + %50 3. bölge	10	28,95	33,55
%25 1. Bölge + %75 3. bölge	10	28,30	32,9
%75 1. Bölge + %25 3. bölge	9	28,00	33,2
%50 2. Bölge + %50 3. bölge	10	24,00	28,2
%25 2. Bölge + %75 3. bölge	10	32,65	37,9
%75 2. Bölge +	10	27,75	32,9

%25 3. bölge			
%33 1. Bölge +			
%33 2. Bölge +	10	28,65	33,25
%33 3. bölge			

Çizelge 4’de farklı bölge agregalarından oluşturulan karışımlar için en uygun tahmin modelleri, modellerin regresyon katsayıları ve F test istatistiği sonuçları verilmiştir.

Ayrıca beton üretiminde farklı özellikte agrega kullanımının beton basınç dayanımını etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi amacıyla F anlamlılık sınaması yapılmıştır. Buna göre ;

- Ho hipotezi: karışımlar arasında ortalama basınç dayanım değeri açısından bir fark yoktur,

- H1 hipotezi: en az bir karışıma ait ortalama basınç dayanım değeri farklıdır.

Farklı agrega kullanımının beton basınç dayanımını özelliğini etkilemesi durumunda, Ho hipotezi reddedilmelidir. Buna göre modelin F istatistiği değerinin F sınır

değerden yüksek çıkması gerekmektedir. Çizelge 4’den de görüleceği gibi modellerin F istatistiği değerleri F sınır değerlerinden yüksek olduğu için Ho hipotezi reddedilmiştir. Buna göre, tüm modellerde farklı özellikte agrega kullanımı beton basınç dayanımını %5 anlamlılık düzeyinde etkilemektedir.

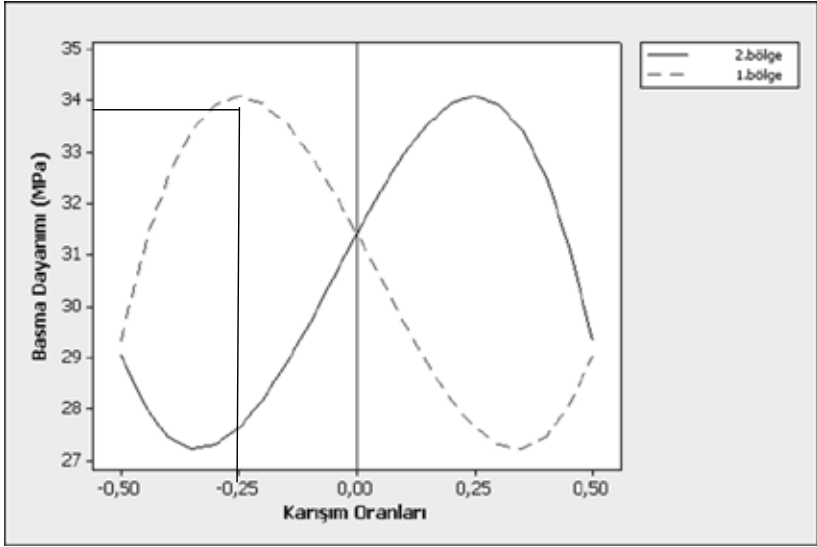
Agregaların beton karışımında farklı oranlarda kullanılması durumunda tahmin modeli kullanılarak hesaplanan beton basınç dayanımındaki değişimler 1.bölge ve 2.bölge için Şekil 2’de, 1.bölge ve 3.bölge için Şekil 3’de, 2.bölge ve 3.bölge için Şekil 4’de ve 1.bölge, 2.bölge ve 3.bölge için ise Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 2,3,4 ve 5’ de yatay eksen karışım oranlarını, düşey eksen ise basınç dayanımı değerlerini göstermektedir. Örneğin Şekil 2’de yatay eksen 0,25 değerinden bir dikme çıkıp kesikli çizgiyle (1.bölge agregası) birleştiği yerde yatay eksende gördüğümüz değer 1.bölge agregasının %25 kullanıldığı karışıma ait beton basınç dayanımı sonucudur. Bu karışımın 2.bölge agregası ise %75 oranında kullanılmıştır.

Çizelge 4. Farklı bölge agregalarından oluşturulan beton karışımlar için geliştirilen basınç dayanımı tahmin modelleri

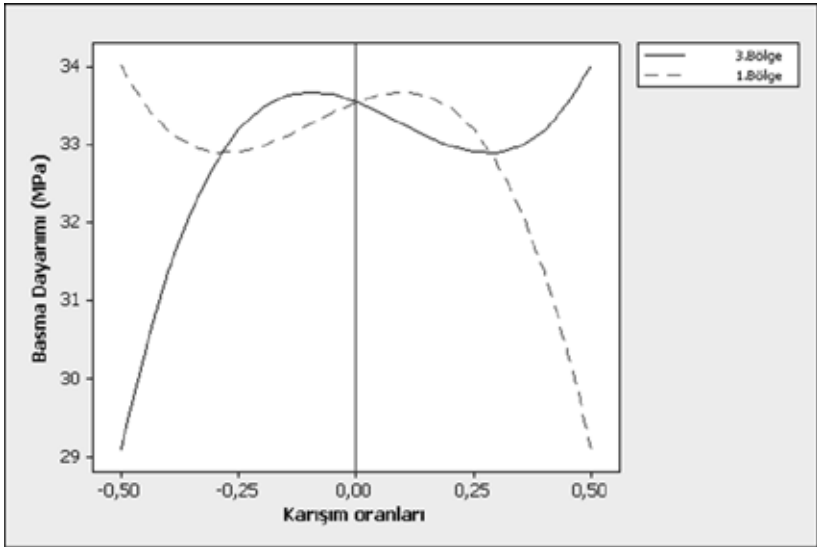
Karışım	Basınç dayanımı tahmin modelleri	Korelasyon katsayıları	F test istatistiği	F Sınır (%5 anlamlılık düzeyinde)
1.Bölge – 2.Bölge	$B=(29,06 \times A_1)+(29,33 \times A_2)+(8,87 \times A_1 \times A_2)+(33,67 \times A_1 \times A_2 \times (A_2-A_1))$	0,95	35,67	5,99
1.Bölge – 3.Bölge	$B=(29,1 \times A_1)+(34,01 \times A_3)+(7,96 \times A_1 \times A_3)-(14,67 \times A_1 \times A_3 \times (A_3-A_1))$	0,91	6,01	5,99
2.Bölge – 3.Bölge	$B=(29,37 \times A_2)+(34 \times A_3)-(13,89 \times A_2 \times A_3)-(14,31 \times A_2 \times A_3 \times (A_2-A_3)+(134,97 \times A_2 \times A_3 \times (A_2-A_3)^2)$	0,98	95,2	6,61
1.Bölge – 2.Bölge – 3.Bölge	$B=(28,96 \times A_1)+(29,21 \times A_2)+(33,86 \times A_3)+(12,61 \times A_1 \times A_2)+(10,71 \times A_1 \times A_3)-(11,19 \times A_2 \times A_3))$	0,89	6,24	4,46

Burada;

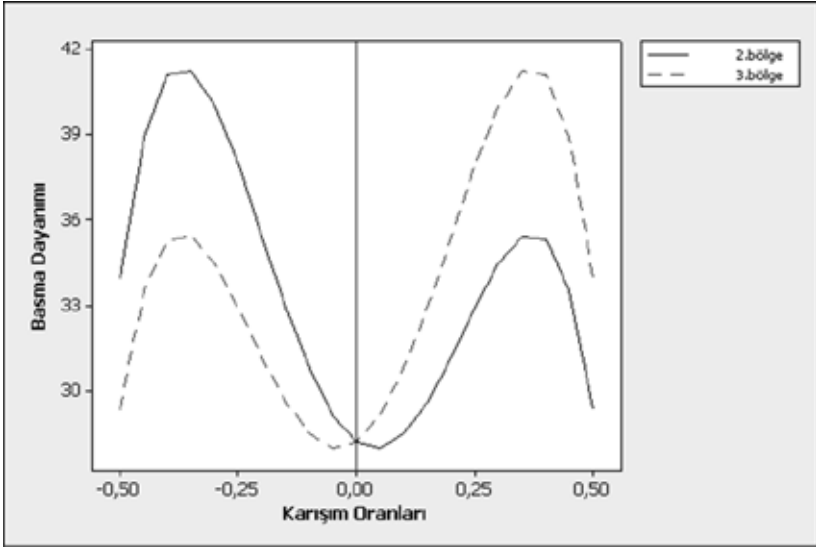
B: Basınç Dayanımı, A₁:1.bölge agregasının karışımda kullanım oranı, A₂:2.bölge agregasının karışımda kullanım oranı, A₃:3.bölge agregasının karışımda kullanım oranı.



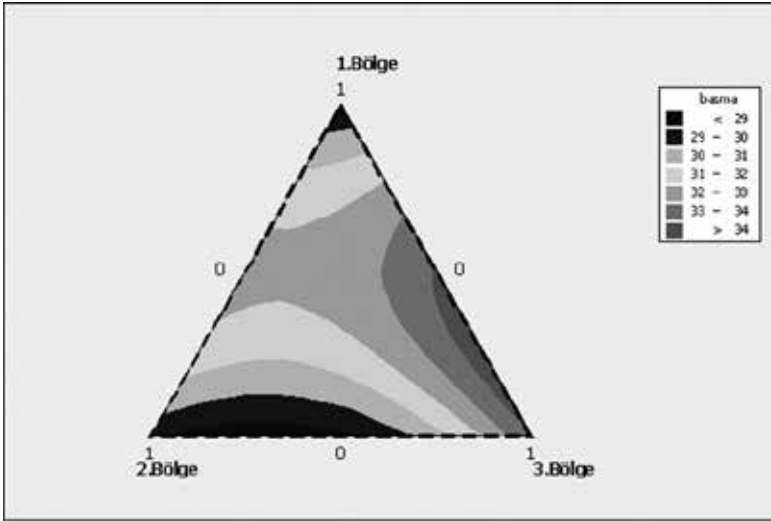
Şekil 2. 1. bölge ve 2. bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basınç dayanım değerleri değişim grafiği



Şekil 3. 1. bölge ve 3. bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basınç dayanım değerleri değişim grafiği



Şekil 4. 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basınç dayanım değerleri değişim grafiği



Şekil 5. 1.bölge, 2.bölge ve 3.bölge agregalarından oluşturulan beton karışımların tahmin formülü kullanılarak hesaplanan basınç dayanım değerleri değişim grafiği

Şekil 2' de görüldüğü gibi 1.bölge-2.bölge karışımında en yüksek basınç dayanımı değerini %25 oranında 1.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir. Bu karışım 2.bölge agregasından ise %75 oranında kullanılmıştır.

Şekil 3'den görüldüğü gibi 1.bölge-3.bölge karışımında en yüksek basınç dayanımı değerini sadece Çatalca bölgesi 3.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir.

Şekil 4'de görüldüğü gibi 2.bölge-3.bölge karışımında en yüksek basınç dayanımı değerini %12 oranında 2.bölge agregasının kullanıldığı beton karışımı vermiştir. Bu karışımında Çatalca bölgesi 3.bölge agregasından ise %88 oranında kullanılmıştır.

Şekil 5'de görüldüğü gibi 1.bölge-2.bölge-3.bölge karışımında basınç dayanımı değeri 3.bölgeye yaklaştıkça artmaktadır. Yani karışımında Çatalca bölgesi 3.bölge agregasından ne kadar fazla kullanılırsa basınç dayanımı değerinin de o ölçüde artacağı söylenebilir.

5 SONUÇLAR

Hammaddenin harmanlanarak tesise beslenmesi madencilikte çok sık karşılaşılan uygulamalardan biridir. Optimum harmanlama modelinin oluşturulması ise yine madencilik sektöründe uzun yıllardır çalışmakta olan bir konudur. Değişik madencilik faaliyetlerinde örneklerine rastlamak mümkün iken, agrega ve beton üretiminde bunu söylemek mümkün değildir. Günümüzde kaynakların verimli kullanımı ve sürdürülebilir üretimin önemli unsurlarından biri üretim kalitesinin devamlılığını sağlayacak bir harmanlama politikasının geliştirilmesi ile de ilişkilidir.

Bu çalışmada farklı kayaç gruplarından agrega üretimi yapan bir taşocağında ürün kalitesinin sürekliliği amacıyla İDT karışım dizaynı yöntemi kullanılarak harmanlama optimizasyon çalışması yapılmıştır. Buna göre 3 farklı bölgeden oluşan ve beton agregası üreten taşocağında beton basınç dayanımı açısından hangi agrega oranlarının daha uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca beton basınç dayanımının tahmininde kullanılabilecek ampirik yaklaşımlar önerilmiştir. Böylece endüstriyel uygulamalarda, beton kalitesini belirlemek gibi zaman ve maliyet açısından önemli bir sorun teşkil eden bu aşamanın çözümü için önerilen bu model ile daha hızlı ve güvenilir verilerin elde edilebileceği ortaya konulmuştur. Önerilen bu modellerin uygulanabilirliği açısından daha çok sayıda ve farklı saha özelliklerine sahip ocaklarda deneyerek güvenilirliği artırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- ADİGUZEL D. 2012 Determination of Optimal Aggregate Blending with Linear Programming in Concrete Production, Istanbul University PhD Thesis.
- ADİGUZEL D., BASCETİN A., YILMAZ M., TUGRUL A. and TUYLU S. 2011 Determination of Optimal Aggregate Blending Policy with Linear Programming in a Quarry, Proceedings of the Twentieth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection MPES 2011, Almaty, Republic of Kazakhstan, October 12-14.
- AKALIN, O., AKAY, K.U. ve SENNAROGLU, B., 2010, Self-Consolidating High-Strength Concrete Optimization by Mixture Design Method, ACI Materials Journal, Cilt: 107, No. 4, Ağustos 2010.
- ANTONY, J., 2003, Design of Experiments for engineers and scientists, Elsevier Science & Technology Books, 0750647094.
- BASCETİN, A. and ADİGUZEL, D. 2011, Determination of Optimal Aggregate Blending with Linear Programming in a Quarry, Proceedings of the Beton 2011 Congress, October 20-22, Istanbul.
- BASCETİN, A., ADİGUZEL, D., TUYLU, S., KARADOĞAN, A. ve CAGLAYAN, M., 2011-b, The Control of Energy Consumption and The Investigation of CO2 Emissions in The Production of Aggregate, Gazi University Journal of Science, 24(3):647-656.
- BAYRAMOV, F., TAŞDEMİR, C. ve TAŞDEMİR, M.A., 2005, Çimento esaslı kompozit malzemelerin optimum tasarımı, İTÜ Dergisi Mühendislik, Cilt:4, Sayı:3, 53-66.
- CHEN, S.H., CHANG, C.S., WANG, H.Y. ve HUANG, W.L., 2011, Mixture design of high performance recycled liquid crystal glasses concrete (HPGC), Construction and Building Materials, 25 (2011) 3886-3892.
- ÇÖMLEKÇİ, N., 2003, Deney tasarımı ilke ve teknikleri, Alfa yayınları, 975-297-298-5, Nisan 2003, İstanbul.
- DING, J.T., YAN, P.Y., LIU, S.L. ve ZHU, J.Q., 1999, Extreme vertices design of concrete with combined mineral admixtures, Cement and Concrete Research, 29 (1999) 957-960.
- SCHEFFE, H., 1958, Experiments with mixtures, Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological), Cilt: 20, No. 2(1958), sf: 344-360.
- SCHEFFE, H., 1963, The Simplex-Centroid Design for Experiments with Mixtures, Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological), Cilt: 25, No. 2(1963), sf: 235-263.
- ŞENOĞLU, B. ve ACITAŞ, Ş., 2010, İstatistiksel Deney tasarımı, Nobel Yayınları, sf:392, Ankara.

MgSO₄ Etkisindeki Betonların Basınç Dayanımının ANFIS ile Tahmini

Predicting the Compressive Strength of Concrete Under the Effect of MgSO₄ by ANFIS

Y. Koçak

Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Kütahya, Türkiye

E. Gülbandır

Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye.

ÖZET Bu çalışma, zeolit ve diatomit ikameli betonların MgSO₄ etkisi altındaki davranışını Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS) tahmin modeli ile araştırmak için tasarlanmıştır. Bu modeli inşa etmek için zeolit, diatomit ve hem zeolit hem de diatomit ikameli 7 farklı karışımdan elde edilen 63 örneğin 28., 56. ve 90. hidratasyon günlerinde basınç dayanımları, ANFIS modelinin eğitim aşamaları için yapılan deneylerden elde edilmiştir. Bu veriler, hidratasyon günü, Portland çimento, zeolit, diatomit, agrega, su ve hiper akışkanlaştırıcı olmak üzere 7 giriş parametresi ve betonun basınç dayanımı olmak üzere 1 çıkış parametresi olarak ANFIS modelinde kullanılmıştır. Bu modelden elde edilen test sonuçları, zeolit ve diatomit ikameli betonların MgSO₄ etkisi altında 28., 56. ve 90. hidratasyon günlerindeki basınç dayanımlarının, ANFIS ile tahmini için faydalı ve güçlü bir model olduğunu göstermiştir.

ABSTRACT This study was designed to investigate with Adaptive Network-based Fuzzy Inference Systems (ANFIS) prediction model for the behavior of concrete containing zeolite and diatomite under the effect of MgSO₄. For purpose of constructing this model, 7 different mixes with 63 specimens of the 28, 56 and 90 days compressive strength experimental results of concrete containing zeolite, diatomite, both zeolite and diatomite used in training for ANFIS system was gathered from the tests. The data used in the ANFIS model are arranged in a format of seven input parameters that cover the age of samples, Portland cement, zeolite, diatomite, aggregate, water and hyper plasticizer and an output parameter which is compressive strength of concrete. In the model, the testing results have shown that ANFIS system has strong potential as a feasible tool for predicting 28, 56 and 90 days the compressive strength of concrete containing zeolite and diatomite under the effect of MgSO₄.

1 GİRİŞ

Beton, Dünya'da en çok tercih edilen ve her geçen gün teknolojinin gelişmesiyle özellikleri iyileştirilen bir yapı malzemesi olarak yerini almaktadır. Beton; uygun oranlardaki agrega, çimento, su ve

gerektiğinde katkı maddelerinin ilevesi ile elde edilen kompozit bir yapı malzemesi olarak ifade edilmektedir (Erdoğan, 2007). Betonun en önemli iki bileşeni agrega ve çimentodur.

Agregalar, beton üretiminde çimento ve suyla birlikte kullanılan kum, çakıl, kırma taş

gibi taneli malzemeler olarak tanımlanmakta ve beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır (Erdoğan, 2007). Betonların üretilmesinde kum, çakıl, kırma taş, yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş kil, genleştirilmiş perlit ve uçucu külden elde edilen doğal ve yapay agrega tipleri kullanılmaktadır (Laserna ve Montero, 2016; Afshinnia ve Rangaraju, 2016; Binici vd., 2010). Betonun kalitesi ile agreganın kalitesi doğru orantılı olarak ilişkilendirilmekte, dolayısıyla iyi özelliklere sahip bir agrega, iyi bir beton için vazgeçilmez bir unsur olarak yerini almaktadır (Kuyumcu, 2006).

Çimento, su ile karıştırıldığında hidratasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alarak sertleşen bir hamur oluşturan, sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımını ve kararlılığını koruyan inorganik ve ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır (Erdoğan, 2007). Betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla çimento ve betona ikame veya katkı malzemesi olarak uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi yapay (Kocak ve Nas, 2014; Zhengqi, 2016; Kocak, 2010; Okoye vd., 2016; Dorum vd., 2009; Zhao vd., 2015), ya da tras, metakaolin, pomza, zeolit ve diatomit gibi doğal mineral malzemeler (Koçak vd., 2010; Subaşı ve Emiroğlu, 2015; Keleştemur ve Demirel, 2015; Yıldız vd., 2010; Gerengi vd., 2013; Kocak ve Savaş, 2016; Kocak vd., 2013) kullanılmaktadır. Çimento ve beton teknolojisinde kullanılan zeolit ve diatomit doğal olması ve ülkemizde yoğun olarak bulunması ile dikkat çekmektedir.

Zeolitler kristal yapıları ve kimyasal özellikleri nedeni ile günümüz endüstrisinin önemli hammaddelerindendir (Yıldız, 2009). Bilinen 150 tür zeolit mineralinden 40'ı doğada büyük miktarlarda ve oldukça saf rezervler halinde bulunmaktadır. Diatomitler ise doğadaki en önemli silis kaynaklarından biridir. Diatomit (kizelgur), algler sınıfından su canlıları olan diatomelerin silisli kabuklarının birikimiyle oluşmuş fosil

karakterli sedimanter bir kayaç olarak ifade edilmektedir (Tatar vd., 2004).

Günümüzde inşaat mühendisliği uygulamalarındaki çeşitli problemleri çözmek için, yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi uzman sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlardan biri de Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS) modeli olarak dikkat çekmekte ve betonların çeşitli özelliklerini tahmin etmek için literatürde kullanılmaktadır (Motamedi vd., 2015; Boğa vd., 2013; Sadrnemtazi vd., 2013; Pourtahmasb vd., 2015; Mahfuz ud Darain vd., 2015; Yuan vd., 2014). Bu çalışmanın amacı; referans, zeolit, diatomit, zeolit-diatomit ikameli çimentolarla hazırlanmış betonların, MgSO₄ etkisi altındaki basınç dayanımını ANFIS modeli ile tahmin etmektir. Çalışmada PÇ referans olmak üzere, %10 ve %20 zeolit, %10 ve %20 diatomit ve %5+5 ve %10+10 oranlarında zeolit ve diatomit, Portland çimentosu yerine ikame edilerek toplam 7 farklı çimento kullanılmıştır. Bu 7 farklı çimento ile 7 grup beton tipi üretilmiştir. Her grup beton ve hidratasyon günü için 3 örnek hazırlanmıştır. Bu betonlardan elde edilen toplam 63 örnek 28., 56. ve 90. hidratasyon günlerinde basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. ANFIS tahmin modelinin eğitimi için bu veriler, hidratasyon günü, Portland çimento, zeolit, diatomit, agrega, su ve hiper akışkanlaştırıcı olmak üzere 7 giriş parametresi ve betonun basınç dayanımı olmak üzere 1 çıkış parametresi olarak kullanılmıştır. Her grup beton ve hidratasyon günü için elde edilen deneysel verilerin ortalaması alınarak belirlenen toplam 21 değer test için kullanılmıştır. Betonların basınç dayanımlarından elde edilen sonuçlar, tahmin sonuçları ile kıyaslanmış ve çalışmamızda ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Malzeme

2.1.1 Agregası

Bu çalışmada agrega olarak Düzce bölgesi Asar deresine ait kırma kum ve kırma taş agrega kullanılmıştır. Yiğitler beton firması tarafından temin edilen bu agreganın fiziksel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

2.1.2 Puzolan

Puzolan olarak Balıkesir-Bigadiç yöresine ait zeolit ve Kütahya yöresine ait diatomit

kullanılmıştır. Diatomit ASU Kimya madencilik firmasından, zeolit ise Türk Zeolit firmasından sağlanmıştır. Zeolit ve diatomite ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 2’de verilmiştir.

2.1.3 Çimento

Bağlayıcı olarak Bolu Çimento Fabrikası tarafından üretilen CEM I 42,5 R tipi Portland çimento (PÇ) kullanılmıştır. PÇ’nin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

Deney		Sonuç			Standart
Birim Ağırlık, g/cm ³	Gevşek	1,48			TS 3529
	Sıkışık	1,66			
Özgül ağırlık ve su emme oranı	Agrega Sınıfı				TS EN1097-6
		0-5, mm	5-19, mm	19-30, mm	
	Kuru özgül ağırlık	2,63	2,62	2,66	
	D. K.Y. Öz. Ağırlık	2,64	2,65	2,69	
	Su Emme oranı (%)	0,61	1,16	1	
Doğal nem (%)		1,25	1,32	1,41	
Organik kökenli madde tayini		Renksizden açık sarıya doğru, organik madde zararsız.			TS EN 1744-1

Çizelge 2. PÇ, zeolit ve diatomitin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Malzeme	PÇ	Diatomit	Zeolit		PÇ	Diatomit	Zeolit
Kimyasal bileşenler, %				Fiziksel özellikler			
SiO ₂ (S)	18,68	79,56	68,85	Blaine inceliği, cm ² /g	4249	13640	5740
Al ₂ O ₃ (A)	4,67	6,54	11,71	Özgül ağırlık, g/cm ³	3,17	2,28	2,18
Fe ₂ O ₃ (F)	3,53	2,76	1,29	90 µm elek bakiye, %	4,08	9,80	17,60
CaO	64,56	2,45	3,97	45 µm elek bakiye, %	-	28,60	35,80
MgO	0,98	0,79	1,06	Priz süresi, dakika			
SO ₃	3,00	0,48	0,18	Başlangıç	118	-	-
Na ₂ O	0,14	2,63	0,29	Bitiş	-	-	-
K ₂ O	0,73	0,69	2,19	Basınç dayanımı (MPa)			
Kızdırma kaybı	3,92	3,88	10,00	2 gün	-	-	-
Serbest kireç	1,74	-	-	7 gün	29,6	-	-
Çözünmeyen kalıntı	0,50	75,98	37,32	28 gün	52,8	-	-
S+A+F	-	88,86	81,85				

2.1.4 Hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi ve karışım suyu

Çalışmada AYDOS yapı kimyasalları firmasından temin edilen fluid 70 türü yeni nesil bir hiper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bu malzemenin katı madde içeriği 34,32, yoğunluğu (20°C) 1,184, pH değeri ise (20°C) 7,26 olarak firma tarafından verilmiştir. Beton numunelerinin hazırlanmasında kullanılan karışım suyu, Düzce ili Doğanlı bölgesinde bulunan bir kuyu suyudur.

2.2 Yöntem

Çalışmada PÇ referans olmak üzere, %10 ve %20 zeolit %10 ve %20 diatomit ve %5+5

ve %10+10 oranlarında zeolit ve diatomit, Portland çimentosu yerine ikame edilerek toplam 7 farklı çimento kullanılmıştır. Bu 7 grup çimento ile 7 grup beton tipi üretilmiş, referans ve katkı oranı ile kullanılan mineral katkı türünün baş harflerine göre sırasıyla R, 10Z, 20Z, 10D, 20D, 5Z+5D ve 10Z+10D şeklinde kodlanmıştır. Beton karışım tasarımında TS 802 (TS 802, 2009) standardında belirtilen yöntem dikkate alınarak karışıma girecek malzeme miktarları belirlenmiş, üretilen taze beton karışımları, kıvamı 8-10 cm arasında olacak şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan beton numunelerine ait 1m³ karışıma giren malzeme miktarları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Beton numuneleri için 1m³ karışıma giren malzeme miktarı

Malzeme Adı	Özgül Ağırlık g/cm ³	PÇ (kg)	10D (kg)	20D (kg)	10Z (kg)	20Z (kg)	5D5Z (kg)	10D10Z (kg)
Agrega	0-5	2,66	822	831	822	843	855	849
	5-19	2,69	586	593	586	602	611	606
	19-30	2,70	428	433	428	439	446	442
Toplam agrega			1836	1857	1836	1884	1912	1897
PÇ	3,17	400	360	320	360	320	360	320
Diatomit	2,28	-	40	80	-	-	20	40
Zeolit	2,18	-	-	-	40	80	20	40
HAK	1,184	4,800	4,320	4,800	4,320	4,800	4,320	3,840
Su	1	139,7	139,7	123,3	139,7	123,2	139,7	124,2
Toplam malzeme			2381	2401	2364	2428	2440	2441

Üretilen betonlar, ayrışmaya izin verilmeyecek şekilde alınarak 15x15x15 cm'lik küp kalıplara yerleştirilmiş ve 24 saat kalıpta bekleyen ve prizini alan beton numuneler, 23±2 °C suda 28 gün kür edilmiştir. 28 gün sonunda sudan çıkarılan beton numuneleri %5 H₂SO₄ çözeltisine koyularak deney tasarımında belirlenen esaslar çerçevesinde 56 ve 90 güne kadar kimyasal etkiye tabi tutulmuştur. Hazırlanan sertleşmiş beton numuneleri, 28., 56. ve 90.

günlerde basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur.

3 UYARLAMALI SİNİRSSEL BULANIK ÇIKARIM SİSTEMLERİ

Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (Adaptive Neural Fuzzy Inference Systems: ANFIS) hem sinir ağlarını hem de bulanık çıkarım sistemlerini içeren bir karma sistem olarak ifade edilmektedir. Bu karma

sistemlerde; bulanık çıkarım, belirsizlik ve karasızlık durumlarını irdelerken, sinirsel ağ uyarlanabilirliği irdelenmektedir. Karma sistemler genellikle Sugeno bulanık model olarak adlandırılmaktadır. Takagi, Sugeno ve Kang, giriş-çıkış veri kümelerinden bulanık kurallar üretebilen bu modeli önermişlerdir. Tipik bir bulanık kural formatı aşağıdaki gibidir.

$$\text{If } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B \text{ then } z = f(x,y)$$

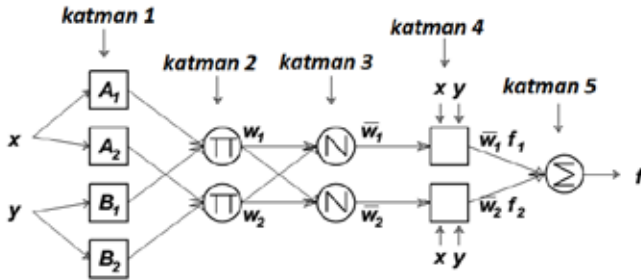
Burada A ve B bulanık önerme kümelerini, $z=f(x,y)$ ise çıkarımdaki ham fonksiyonunu göstermektedir. Genellikle $f(x,y)$, x ve y giriş değişkenlerini göstermek üzere bir polinom fonksiyondur. Eğer $f(x,y)$ birinci dereceden bir polinom ise bu model, birinci derece Sugeno bulanık model olarak tanımlanır. Eğer f sabit ise, sıfırıncı derece Sugeno

bulanık model denir. Birinci derece Sugeno bulanık çıkarım sistemi için aşağıdaki gibi iki bulanık çıkarım *If-then* kuralları ile örneklenebilir.

$$\begin{aligned} \text{Kural 1: } & \text{If } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1, \text{ then } f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1 \\ \text{Kural 2: } & \text{If } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2, \text{ then } f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2 \end{aligned}$$

Bu çıkarım sisteminde her bir kuralın çıkışı, sabit terim eklenmesi ile giriş değişkenlerinin doğrusal bir kombinasyonudur. Son çıkış, her bir kuralın çıkışının ağırlık ortalamasıdır (\bar{w}_i) (Aali vd., 2009; Jang, 1996).

ANFIS mimarisinin temel yapısı Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. ANFIS mimarisini

Aşağıda aynı katmandaki düğüm fonksiyonunun davranışları ayrıntılı olarak ifade edilmektedir (Not: o_i^j , j -inci tabakadaki i -inci düğümün çıkışını göstermektedir).

Katman 1 (Bulanıklaştırma katmanı): Bu katmandaki her i düğüm, düğüm fonksiyonuyla uyumlu davranış gösterir ve çıkışı aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} O_i^1 &= A_i(x), & \text{icin } i = 1,2, \text{ veya} \\ O_i^1 &= B_{i-2}(y), & \text{icin } i = 3,4 \end{aligned}$$

Burada x veya y i -inci düğüm için girişleri ve A_i veya B_{i-2} ise *uzun*, *kısa* gibi dilsel ifadeleri göstermektedir. Diğer bir ifadeyle o_i^j , A veya B bulanık kümelerinin üyelik derecelerini göstermektedir ve

$$O_i^1 = \mu A_i(x) = \frac{1}{1 + [(x - c_i) / a_i]^{2b}}$$

şeklinde gösterilmektedir. Burada $\{a_i, b_i, c_i\}$ küme parametrelerini göstermektedir. Genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu için bu parametrelerin değerleri A_i dilsel etiketin üyelik derecesini verir. Bu üyelik

dercesi fonksiyonlarının değişik tipleri bulunmaktadır ve üyelik fonksiyonuna tipine göre Denklem 3 değişiklik göstermektedir. Bu katmandaki parametreler öncül parametreler olarak tanımlanmaktadır. Bu katmanın çıkışı öncül kısmın üyelik derecesinin değeridir.

Katman 2 (Çıkarım kuralı katmanı): Bu katmandaki her bir düğüm cebirsel çarpma operatörü yardımıyla bir kuralın bulanık çıkarımı ile hesaplanmaktadır (Genellikle T-norm dönüşümü için mantıksal VE işlemi tercih edilebilir).

$$O_i^2 = w_i = \mu A_i(x) \cdot \mu B_i(y) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Katman 3 (Normalizasyon katmanı): Bu katmandaki *i*-inci düğümün bulanık çıkarımının bütün düğümlerin bulanık çıkarımlarının toplamının oranlanmasıyla hesaplanmaktadır.

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Bu katmanın çıkışları normalize edilmiş olarak adlandırılır.

Katman 4 (Sonuç katmanı): Bu tabakadaki *i*-inci düğüm, düğüm fonksiyonunun ile normalize çıkışın çarpılması ile hesaplanmaktadır.

$$O_i^4 = \bar{w}_i \cdot f_i = \bar{w}_i \cdot (p_i \cdot x + q_i \cdot y + r_i) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Burada \bar{w}_i , 3-üncü katmanın *i*-inci düğümün çıkışını ve $\{p_i, q_i, r_i\}$ ise parametre kümesini göstermektedir. Bu katmandaki parametreler ardıl parametreler olarak tanımlanmaktadır.

Katman 5 (Çıkış katmanı): Bu katmanın tek sabit düğümündeki Σ etiketi bütün gelen işaretlerin toplamı olan son çıkış olarak hesaplanmaktadır.

$$O_i^5 = \text{toplancikis} = \sum_i \bar{w}_i \cdot f_i = \frac{\sum_i w_i \cdot f_i}{\sum_i w_i} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

ANFIS'in temel öğrenme kuralı olarak «backpropagation gradient descent» kullanılmakta ve giriş düğümüne çıkış katmanı tekrar geri verilmekte ve hata işaretleri kendi kendini çağırarak (rekürsif) hesaplanmaktadır (Her düğümün çıkışı ile ilgili kare hata türevidir). Bu öğrenme kuralı tam olarak ortak ileri beslemeli sınır ağlarında kullanılan geri yayılım öğrenme kuralı aynıdır (Jang, 1996).

4 DENEYSEL TASARIM VE MODEL PARAMETRELERİ

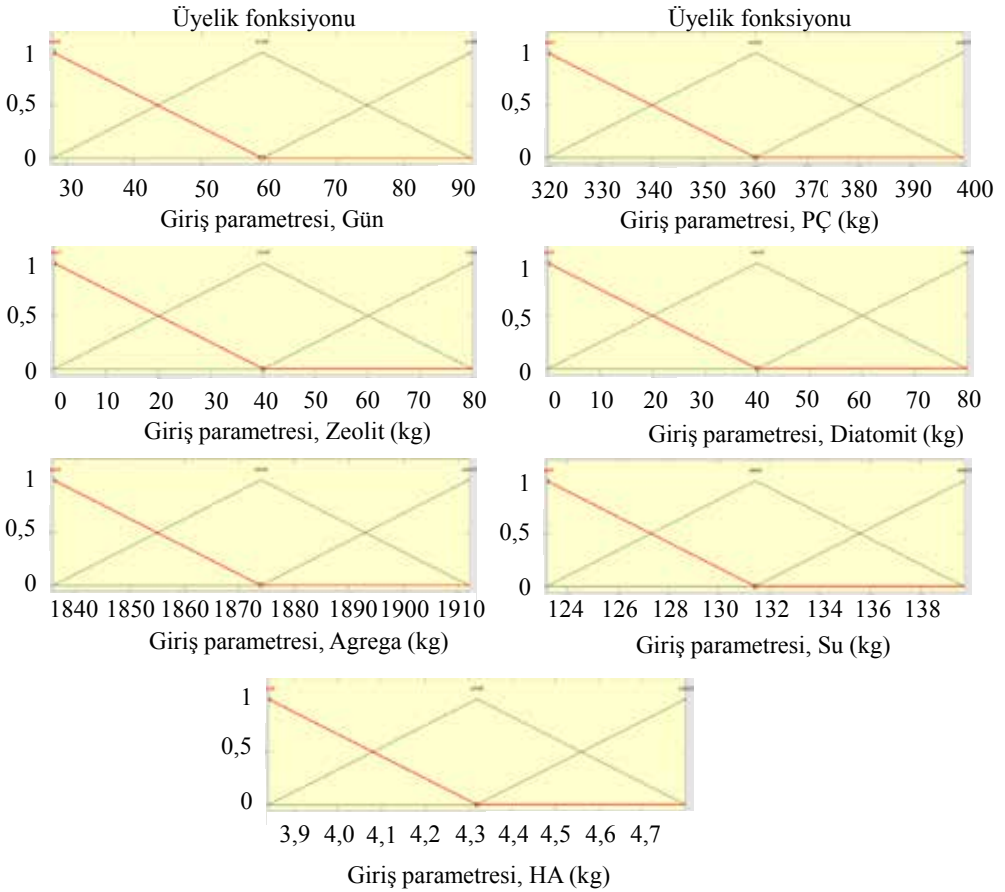
ANFIS modelinin eğitim ve test aşamaları için hidratasyon günü, Portland çimento, zeolit, diatomit, agrega, su ve hiper akışkanlaştırıcı olmak üzere 7 giriş parametresi ve betonun basınç dayanımı olmak üzere 1 çıkış parametresi kullanılmıştır (Çiz. 4).

ANFIS modelinin eğitimi için deneylerden elde edilen 63 veri kullanılırken, her bir beton türünün basınç dayanımını belirlemek için elde edilen 3 deney sonucunun ortalaması alınarak elde edilen 21 veri, test aşaması için kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan ANFIS modelinde yedi adet giriş değişkeni (hidratasyon günü, Portland çimento, zeolit, diatomit, agrega, su ve hiper akışkanlaştırıcı) ve çıkış değişkeni olarakta betonun basınç dayanımı seçilmiştir. Bu modelde farklı epochlarla farklı öğrenme algoritmaları denedikten sonra en iyi korelasyonun 1500 epoch ve hibrit öğrenme algoritmasında olduğunu belirlenmiştir. Modelimizde tüm giriş değişkenleri için “gaussmf” üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonları Şekil 2'de görülmektedir.

Çizelge 4. ANFIS modelinin giriş ve çıkış parametreleri

		Eğitim ve test verileri	
		Minimum	Maksimum
Giriş parametreleri	Hidratasyon günü	28	90
	PÇ, g	320	400
	Zeolit, g	0	80
	Diatomit, g	0	80
	Agrega	1836	1912
	Su	123,2	139,7
Hiper akışkanlaştırıcı	3,840	4,800	
Çıkış parametreleri	Basınç dayanımı (MPa)	42,8	67,8



Şekil 2. Giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonları

5 BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, basınç dayanımı değerleri ANFIS ile medellenmiştir. ANFIS modelinin eğitimi için 63 veri kullanılırken, test için 21 veri kullanılmıştır.

Deneysel sonuçlar ile modelden elde edilen sonuçlarının karşılaştırılmasında; belirleme katsayısı (R^2), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve karekök ortalama hata (RMS) kriterleri kullanılmıştır. Bu kriterler Denklem. (1), (2) ve (3) kullanılarak hesaplanabilir (Ozcan vd., 2009).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |t_i - o_i|^2} \quad (1)$$

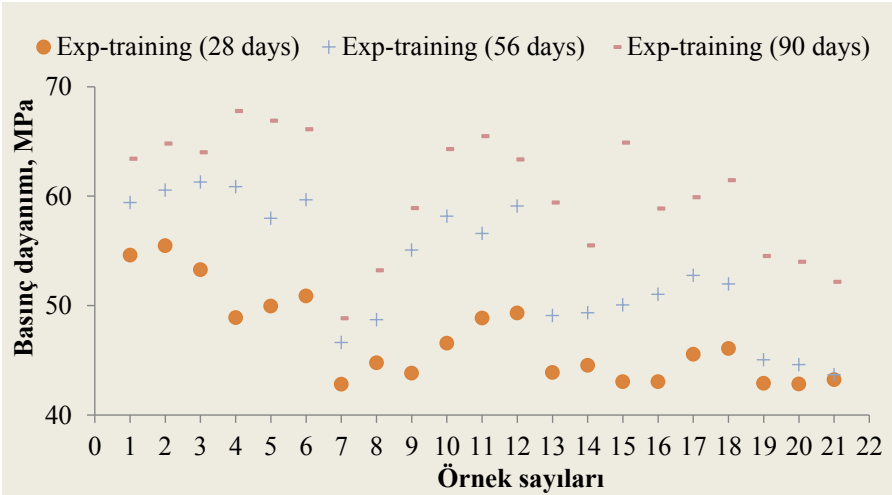
$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^N (o_i)^2} \right) \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\left| \frac{t_i - o_i}{o_i} \right| \right) * 100 \quad (3)$$

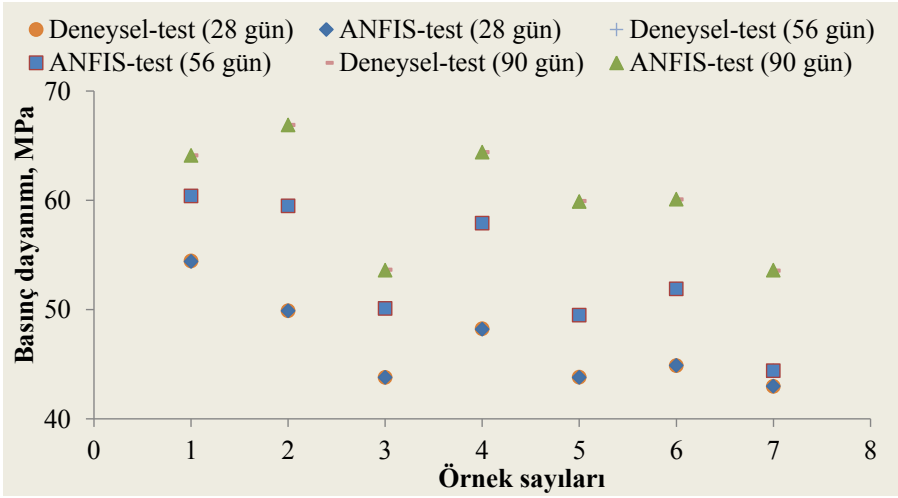
Burada t hedef değeri, o ANFIS çıkış değerini ve N toplam örneklem sayısını göstermektedir.

Deneylerden elde edilen ve eğitim için kullanılan örneklere ait basınç dayanımı değerleri Şekil 3'de verilmiştir. ANFIS'den elde edilen tahmin değerleri ile deney sonuçlarından elde edilen veriler ise Şekil 4'de verilmiştir. Giriş parametreleri, ANFIS'den elde edilen sonuçlar ve basınç dayanımı değerleri Çizelge 5'de verilmiştir.

ANFIS modelinden elde edilen tahmin değerleri ile deneylerden elde edilen 2, 28 ve 90. hidrasyon günlerindeki basınç dayanımları ve hesaplanan R^2 , RMS ve MAPE gibi istatistiksel veriler Şekil 5'de verilmiştir.



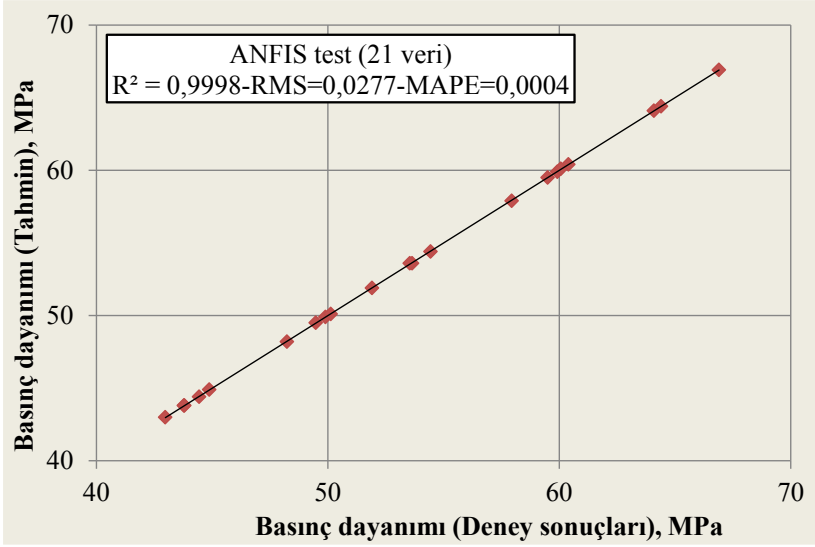
Şekil 3. Deneylerden elde edilen ve eğitim için kullanılan örneklere ait basınç dayanımı değerleri



Şekil 4. ANFIS'den elde edilen tahmin değerleri ile deney sonuçlarından elde edilen veriler

Çizelge 5. Giriş parametreleri, ANFIS'den elde edilen sonuçlar ve basınç dayanımı değerleri

Gün	Model için kullanılan giriş parametreleri						Basınç dayanımı, MPa	
	PC, kg	Z, kg	D, kg	Agrega, kg	Su, kg	HA, kg	Deney verileri	ANFIS, test
28	400	0	0	1836	139,7	4,80	54,4	54,4
28	360	0	40	1857	139,10	4,32	49,9	49,9
28	320	0	80	1836	123,3	4,80	43,7	43,8
28	360	40	0	1884	139,7	4,32	48,2	48,2
28	320	80	0	1912	123,2	4,80	43,8	43,8
28	360	20	20	1897	139,7	4,32	44,8	44,9
28	320	40	40	1911	124,2	3,84	42,9	43
56	400	0	0	1836	139,7	4,80	60,4	60,4
56	360	0	40	1857	139,10	4,32	59,5	59,5
56	320	0	80	1836	123,3	4,80	50,1	50,1
56	360	40	0	1884	139,7	4,32	58,0	57,9
56	320	80	0	1912	123,2	4,80	49,4	49,5
56	360	20	20	1897	139,7	4,32	51,9	51,9
56	320	40	40	1911	124,2	3,84	44,4	44,4
90	400	0	0	1836	139,7	4,80	64,1	64,1
90	360	0	40	1857	139,10	4,32	66,9	66,9
90	320	0	80	1836	123,3	4,80	53,7	53,6
90	360	40	0	1884	139,7	4,32	64,4	64,4
90	320	80	0	1912	123,2	4,80	59,9	59,9
90	360	20	20	1897	139,7	4,32	60,0	60,1
90	320	40	40	1911	124,2	3,84	53,5	53,6



Şekil 5. ANFIS'den elde edilen tahmin değerleri ile deneylerden elde edilen sonuçlar

Şekil 5 ve Çizelge 5'de görüldüğü gibi, ANFIS modelinden elde edilen basınç dayanımları ile deney sonuçları neredeyse birbirine eşit olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, giriş ve çıkış değişkenleri arasında bir uyumun olduğu ve bu ANFIS modelinden oldukça iyi basınç dayanımı tahminleri elde edilebileceği tespit edilmiştir.

ANFIS modelinden elde edilen test aşamasındaki R^2 , RMS ve MAPE gibi istatistiksel veriler sırasıyla 0,9998, 0,0277 ve 0,0004 olarak belirlenmiştir (Şek. 5). Bu değerler; deneylerden elde edilen 2., 28. ve 90. hidrasyon günlerindeki basınç dayanımı sonuçlarının, bu model ile elde edilen tahmin değerlerine benzer bir şekilde elde edilebileceğini göstermektedir.

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada referans, zeolit, diatomit, zeolit-diatomit ikameli çimentolarla hazırlanmış betonların, MgSO₄ etkisi altındaki basınç dayanımlarını tahmin etmek için geliştirilen ANFIS modeli; hidrasyon günü, Portland çimento, zeolit, diatomit, agrega, su ve hiper akışkanlaştırıcı olmak

üzere 7 giriş parametresi ve betonun basınç dayanımı olmak üzere 1 çıkış parametresinden oluşmuştur. ANFIS modelinden elde edilen test aşamasındaki R^2 , RMS ve MAPE gibi istatistiksel verilerin sırasıyla 0,9998, 0,0277 ve 0,0004 olduğu ve bu verilerin oldukça iyi sonuçlar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ANFIS modelinden elde edilen basınç dayanımları ile deney sonuçlarının neredeyse birbirine eşit olduğunu göstermiştir. Bu nedenle de giriş ve çıkış değişkenleri arasında bir uyumun olduğu ve bu ANFIS modelinden oldukça iyi basınç dayanımı tahminleri elde edilebileceği, dolayısı ile geliştirilen bu modelin faydalı ve güçlü bir model olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak geliştirilen bu model ile zeolit ve diatomit içerikli çimentolar ile hazırlanmış bu betonların çok küçük hata ile kısa sürede basınç dayanımlarının tahmininde bulunulabileceği görülmüştür. Ayrıca bu metodun yanında yapay sinir ağları (ANN), bulanık mantık gibi uzman sistemler kullanılarak farklı modellerle tahmin edilmesinin faydalı olabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, deneysel çalışmamızı 2011.03.HD.09 proje kod numarasıyla maddi olarak destekleyen Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Komisyon Başkanlığına teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Aali, KA, Parsinejad, M, Rahmani, B, 2009, Estimation of saturation percentage of soil using multiple regression, ANN, and ANFIS techniques *Comput. Inform. Sci.*, cilt 2, sayı 3, s. 127–136.
- Afshinnia, K, Rangaraju, PR, 2016. Impact of combined use of ground glass powder and crushed glass aggregate on selected properties of Portland cement concrete, *Construction and Building Materials*, cilt 117, s. 263–272.
- Binici, H, Sevinç, AH, Durgun, MY, 2010. Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Özellikleri, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 13, sayı 1, s. 1–14.
- Boğa, AR, Öztürk, M, Topçu, İB, 2013. Using ANN and ANFIS to predict the mechanical and chloride permeability properties of concrete containing GGBFS and CNF, *Composites: Part B*, cilt 45, s. 688–696.
- Dorum, A, Koçak, Y, Yılmaz, B, Uçar, A, 2009. Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Yüzey Özelliklerine ve Hidratasyona Etkileri, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, cilt 19, s. 47–58.
- Erdoğan, TY, 2007. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim AŞ., ISBN / ISSN: 975–7064–67–x, Ankara, Türkiye.
- Gerengi, H, Kocak, Y, Jazdzewska, A, Kurtay, M, Durgun, H, 2013. Electrochemical investigations on the corrosion behaviour of reinforcing steel in diatomite- and zeolite-containing concrete exposed to sulphuric acid, *Construction and Building Materials*, cilt 49, s. 471–477.
- Jang, J–SR, 1996. Input selection for ANFIS learning, *Fuzzy Systems, Proceedings of the Fifth IEEE International Conference*, V012: s. 1493 – 1499.
- Keleştemur, O, Demirel, B, 2015. Effect of metakaolin on the corrosion resistance of structural lightweight concrete, *Construction and Building Materials*, cilt 81, s. 172–178.
- Kocak, Y, 2010. A Study on the Effect of Fly Ash and Silica Fume Substituted Cement Paste and Mortars, *Scientific Research and Essays*, cilt 5, sayı 9, s. 990–998.
- Koçak, Y, Dorum, A, Yılmaz, B, Uçar, A, 2010. Trasin Çimento Yüzey Özelliğine, Hidratasyona ve Basınç Dayanımına Etkisi. *E–Journal Of New World Sciences Academy Technological Applied Sciences*, cilt 5, sayı 1, s. 1–14.
- Kocak, Y, Nas, S, 2014. The effect of using fly ash on the strength and hydration characteristics of blended cements, *Construction and Building Materials*, cilt 73, s. 25–32.
- Kocak, Y, Savaş, M, 2016. Effect of the PC, diatomite and zeolite on the performance of concrete composites, *Computers and Concrete*, cilt 17, sayı 6, s. 815–829.
- Kocak, Y, Tascı, E, Kaya, U, 2013. The effect of using natural zeolite on the properties and hydration characteristics of blended cements, *Construction and Building Materials*, cilt 47, s. 720–727.
- Kuyumcu, HM, 2006. Deniz suyu ve sülfatlı suların beton dayanımına etkisi, Yüksek lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Laserna, S, Montero, J, 2016. Influence of natural aggregates typology on recycled concrete strength properties, *Construction and Building Materials*, cilt 115, s. 78–86.
- Mahfuz ud Darain, Kh, Shamshirband, S, Jumaat, MZ, Obaydullah, M, 2015. Adaptive neuro fuzzy prediction of deflection and cracking behavior of NSM strengthened RC beams, *Construction and Building Materials*, cilt 98, s. 276–285.
- Motamedi, S, Shamshirband, S, Petković, D, Hashim, R, 2015. Application of adaptive neuro-fuzzy technique to predict the unconfined compressive strength of PFA–sand–cement mixture, *Powder Technology*, cilt 278, s. 278–285.
- Okoye, FN, Durgaprasad, J, Singh, NB, 2016. Effect of silica fume on the mechanical properties of fly ash based–geopolymer concrete, *Ceramics International*, cilt 42, s. 3000–3006.
- Ozcan, F, Atis, CD, Karahan, O, Uncuoglu, E, Tanyildizi, H, 2009. Comparison of artificial neural network and fuzzy logic models for prediction of long-term compressive strength of silica fume concrete *Advances in Engineering Software*, cilt 40, s. 856–863.
- Pourtahmasb, MS, Karim, MR, Shamshirband, S, 2015. Resilient modulus prediction of asphalt mixtures containing Recycled Concrete Aggregate using an adaptive neuro–fuzzy

- methodology, *Construction and Building Materials*, cilt 82, s. 257–263.
- Sadromtazi, A, Sobhani, J, Mirgozar, MA, 2013. Modeling compressive strength of EPS lightweight concrete using regression, neural network and ANFIS, *Construction and Building Materials*, cilt 42, s. 205–216.
- Subaşı, A, Emiroğlu, M, 2015. Effect of metakaolin substitution on physical, mechanical and hydration process of White Portland cement, *Construction and Building Materials*, cilt 95, s. 257–268.
- Tatar, I, Ediz, N, Bentli, İ, 2004. Diatomit Katkılı Çini Karo Bünye Üretimi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13–14 Mayıs 2004, Kocaeli, s. 313–317.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2009. Beton karışımı hesap esasları, TS 802, Ankara, Türkiye.
- Yıldız, K, 2009. Pomza ve zeolit katkılı yüksek dayanımlı betonların asit ve tuz etkilerine karşı dayanıklılığının araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yıldız, K, Dorum, A, Koçak, Y, 2010. Pomza Zeolit Ve Cem I Çimentosunun Minerolojik Moleküler Elektrokinetik Ve Termal Uyumunun Yüksek Dayanımlı Betona Etkisinin Araştırılması, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, cilt 25, sayı 4, s. 867–879.
- Yuan, Z, Wang, L–N, Ji, X, 2014. Prediction of concrete compressive strength: Research on hybrid models genetic based algorithms and ANFIS, *Advances in Engineering Software*, cilt 67, s. 156–163.
- Zhao, H, Sun, W, Wu, Xiaoming, Gao, B, 2015. The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures, *Journal of Cleaner Production*, cilt 95, s. 66–74.
- Zhengqi, L, 2016. Drying shrinkage prediction of paste containing meta-kaolin and ultrafine fly ash for developing ultra-high performance concrete, *Materials Today Communications*, cilt 6, s. 74–80.

Hekimhan (Malatya) Doğal Zeoliti Katkılı Betonun Mekanik ve Durabilite Özellikleri

Mechanical and Durability Properties of Concretes Incorporating Hekimhan (Malatya) Natural Zeolite

M. Genç¹, Ç. Ceylan², C. Fenerli³, N. Kızılkaya⁴, M. Önal⁵

1. İnönü Üniversitesi Hekimhan Mehmet Emin Sungur MYO, Mülkiyeti Koruma ve Güvenlik Bölümü, Malatya

2,3. İnönü Üniversitesi Hekimhan Mehmet Emin Sungur MYO, İnşaat Bölümü, Malatya

4. İnönü Üniversitesi Hekimhan Mehmet Emin Sungur MYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Malatya

5. İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya

ÖZET Beton dünyada en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir. Bu nedenle betonun mekanik ve durabilite özelliklerinin incelenmesi ve geliştirilmesi çok önemlidir. Bu çalışmada doğal zeolitin portland çimentosunun bir kısmı yerine kullanılarak (%10, 15, 20 ve 30) beton karışımları hazırlanmış ve mekanik ve durabilite değişiklikleri referans numuneler ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan doğal zeolit Hekimhan (Malatya) civarında elde edilmiş, XRD ve XRF analizleri yapılarak elementer ve mineralojik bileşimleri ortaya konmuştur. Farklı oranlarda doğal zeolit içeren beton karışımları slump testine tabi tutulmuştur. Bu karışımlardan hazırlanan küp numuneleri (150×150×150 mm) 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği deneyleri uygulanmıştır. Doğal zeolit katkılı betonun mekanik ve durabilite özelliklerinin zeolit karışım miktarına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Hazırlanan karışımların başlangıç ve 28 gün sonundaki SEM görüntüleri kullanılarak tane şekilleri ve boyutları belirlenmiştir. XRD sonuçlarına göre doğal zeolitin klinoptilolit türü zeolit olduğu belirlenmiştir.

ABSTRACT Concrete is the most widely used construction material in the World, therefore investigation and development of its mechanical and durability properties is very important. In this study, several concrete mixes containing natural zeolite as partial replacement of Portland cement (%10, 15, 20 and 30) are studied and compared with reference concrete. Natural zeolites obtain in Hekimhan (Malatya), Elementer and mineralogical composition has been demonstrated wiith using XRD and XRF analysis. Concrete mixtures containing natural zeolite with different rates applied slump test. Cube specimens (150×150×150 mm) prepared from these mixtures applied compressive strength and ultrasonic sound permeability test after standing for 28 days in cure pool. Natural zeolite reinforced concrete was found that the mechanical and durability properties of the mixture vary depending on the amount of zeolite has been found that therefore participating in the amount of zeolite has been shown to need to be careful. Using beginning and 28 day after SEM image, shape and size of graing of

natural zeolite, aggregate and cement mixture have determined. According to the results of the analysis in XRD, natural zeolite is clinoptilolite.

1 GİRİŞ

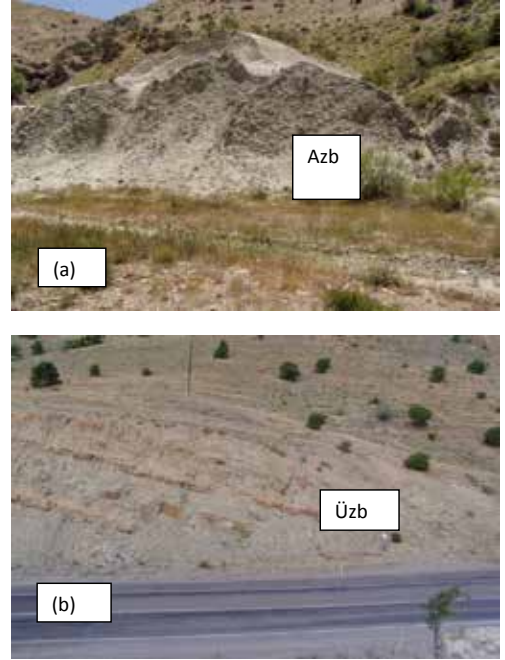
Modern yapılaşmada betonun dayanım ve durabilitesi önemli rol oynamaktadır. Doğal puzolanik malzemeler içerisinde zeolitler ucuz olması ve kolay bulunması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Kristal yapıda olmalarına rağmen uygun puzolanik aktivite gösterirler. Turanlı ve Uzal'a göre klinoptilolite zeolitinin kireç reaktivitesi uçucu kül ve zeolit içermeyen doğal puzolana göre daha yüksektir. Birçok araştırmacı klinoptilolite zeoliti içeren karışımların puzolanik reaksiyonunun kalsiyum hidroksit içeriğini önemli ölçüde düşürdüğünü belirtmişlerdir. Zeolit ile ilgili birçok çalışma; yaklaşık % 10 gibi bir orandaki zeolit içeriğinin uygun olduğunu, daha fazlasının basma dayanımının düşmesine neden olduğunu göstermektedir. (Markiv, 2016).

Çalışmalarda kullanılan doğal zeolitler, Malatya Havzasının kuzeyinde bulunan Üst Kretase yaşlı denizel oluşumlardır. Yaklaşık 90 km²'lik bir alanı kaplayan zeolitlerin sedimantolojik, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri ortaya konulmuştur (Önal, 2007).

Çalışma alanı temel kayası serpantin, diyabaz ve marn bloklarından oluşan Hocalıkova Melanjından yapıldır (Önal, 2007).

Örtü kaya birimlerini Medik Formasyonu, Tohma Formasyonu, Sarıkız Formasyonu, Kırankaya Formasyonu, Yağcı Formasyonu ve Hasançalabi Volkanikleri oluşturur. Bu kaya birimleri Kampaniyen-Mestrişiyen yaşındadır. Kaya birimleri birbiriyle uyumlu bir istif oluştururlar (Önal, 2007). Sarıkız Formasyonu şeyl, çamurtaşı, kumtaşı çakıltası, dolomit, kireçtaşı ve killi kireçtaşı ardalanmasından oluşur ve sığdan derin deniz ortamına kadar olan alanlarda çökelmiştir. Bileşimi litolojik özellikleri ve fosilleri göz önüne alındığında, alt zeolit biriminin başlıca derin deniz ortamında üst zeolit biriminin ise sığ su ortamında çökelmiş olduğu söylenebilir (Önal, 2007). Alt

zeolit biriminin jeolojik rezervi 14 milyon ton, üst zeolitlerin jeolojik rezervi 176 milyon ton olarak tahmin edilmektedir (Önal, 2007). Şekil 1'de alt ve üst zeolit birimleri yer almaktadır.



Şekil 1. Alt ve Üst zeolit birimleri arazi görüntüsü (a. Alt zeolit birimi (Azb), b. Üst zeolit birimi (Üzb))

2 MATERYAL VE METOT

Çalışmalarda katkı malzemesi olarak Malatya – Hekimhan bölgesinden elde edilen denizel kökenli alt zeolit birimine ait doğal zeolit kullanılmıştır. Çalışmalara başlamadan önce katkı malzemesinin bir takım özelliklerini belirlemek amacıyla elek analizi, kıvam limitleri, özgül ağırlık, XRD, XRF ve SEM analizleri yapılmıştır.

İkinci aşamada deneyde kullanılacak malzemelerin karışım oranları belirlenmiştir. Bunun için agrega, su ve katkı miktarları tüm numunelerde sabit tutulmuş, doğal zeolit ve çimento miktarları farklı oranlarda

kullanılarak her set için üçer tane beton küp (150x150x150mm) numunesi hazırlanmıştır. Üçüncü aşamada ise beton numunelere ait slump, ultrasonik ses geçirgenliği, 28 günlük basınç dayanım deneyi yapılarak zeolit miktarının artışının, beton numunelerinin mekanik ve durabilite özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2.1 Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

2.1.1 Doğal zeolit

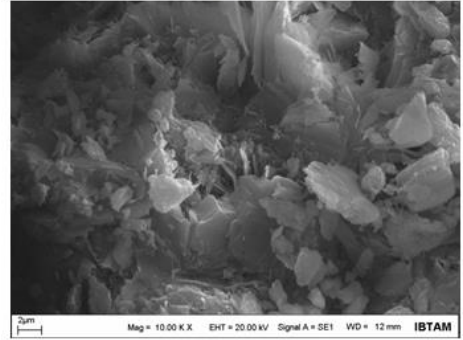
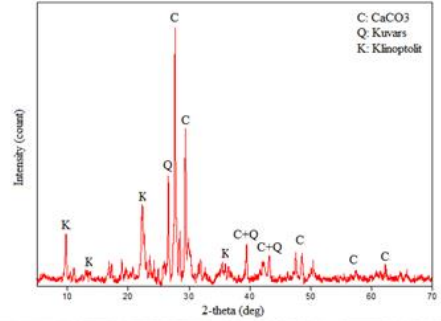
Çalışmalarda kullanılan doğal zeolitin fiziksel özelliklerini belirlemek üzere yapılan deneyler “TS 1900-1 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri- Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini” standardına uygun olarak Hekimhan Mehmet Emin Sungur MYO Geoteknik Laboratuvarında yapılmıştır (TS 1900-1).

Çizelge 1’de çalışmalarda kullanılan doğal zeolitin fiziksel özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 1. Kullanılan zeolitin fiziksel özellikleri

Özellik		Değer
Tane boyu dağılımı	Çakıl (%)	0,59
	Kum (%)	38,16
	İnce (%)	61,25
Kıvam Limitleri	Likit Limit (LL, %)	72
	Plastik Limit (PL, %)	38
	Plastisite İndeksi (PI, %)	34
Özgül ağırlık (Gs)		2,19

Çalışmalarda kullanılan doğal zeolitin mineral yapısı ve mikro tane özelliklerinin belirlenmesi amacıyla İnönü Üniversitesi İBTAM Laboratuvarında XRD analizi yapılmış, SEM görüntüleri elde edilmiştir. Şekil 2’de zeolit numunesine ait XRD analiz sonucu ve SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2. Zeolitin X-ışınları Difraktogramı ve SEM görünümü

Çizelge 2’de kullanılan doğal zeolite ait kimyasal analiz yer almaktadır.

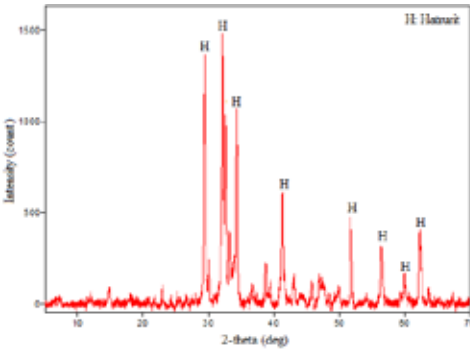
Çizelge 2. Zeolite ait kimyasal analiz sonuçları (Önal, 2007)

Oksit	(%)
SiO ₂	61.74
Al ₂ O ₃	13.01
Fe ₂ O ₃	2.77
MgO	2.53
CaO	1.63
Na ₂ O	1.29
K ₂ O	0.83
TiO ₂	0.12
LOI	15.9
TOT/C	0.10
TOT/S	0.01
Toplam (%)	99.86

Beton deneylerinde kullanılmak üzere etüvde $105\pm 5^\circ\text{C}$ 'de 24 saat süresince kurularak öğütülen zeolit numuneleri 200 nolu elekten elenmiştir. Elek altı numuneler belirlenen miktarlarda beton üretiminde katkı malzemesi olarak değerlendirilmiştir.

2.1.2 Çimento

DeneySEL çalışmalarda bağlayıcı malzeme olarak Ağırnas –Kayseri'den temin edilen CEM I-42.5 R türü çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait XRD analiz sonuçları Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Çimentonun X-ışınları Difraktogramı

2.1.3 AgregA

DeneySEL çalışmalarda kullanılan agregalar kırmataş olarak Tavşantepe-Malatya bölgesinden elde edilmiştir. Agregalara ait özellikler ve kullanılan miktarları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Çalışmalarda kullanılan agregA özellikleri

AgregA	Doğal Birim Hacim Ağ. (gr/cm^3)	Miktar (%)
İnce	2,72	24,5
İri	2,72	48,3

2.1.4 Katkı maddesi

Beton numuneleri hazırlanırken TS EN 934-2+A1 özelliklerine uygun YAPICHEM KİMYA SAN. A.Ş. tarafından üretilen ARSTEP EXTRA 827 S tipi akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Kullanılan katkı

malzemesine ait özellikler Çizelge 4'de verilmiştir (TS EN 934-2+A1).

Çizelge 4- Katkı maddesi özellikleri

Özellikler	Değerler
Kimyasal İçerik	Polimer esaslı
Renk, görünüm	Kahverengi sıvı
pH	6-10
Yoğunluk	$1,20\pm 0,03\text{gr}/\text{cm}^3$
Klor İçeriği (%)	$<0,1$ (EN 480-10'a göre)
Alkali İçeriği (%)	<10 (EN 480-12'a göre)

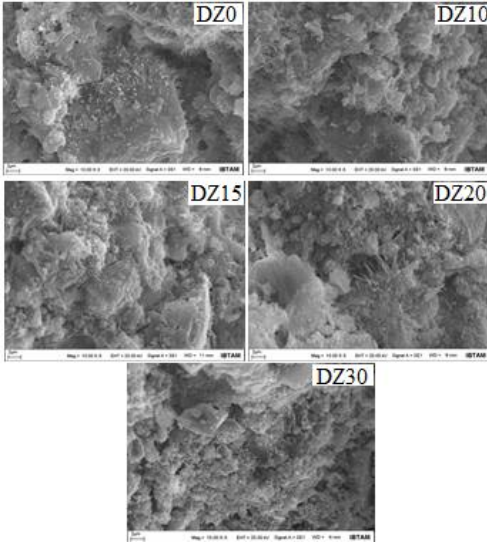
2.1.5 Karışım özellikleri

DeneySEL çalışmalarda üretilen tüm beton numunelerinde akışkanlaştırıcı katkı miktarı 10ml olarak kullanılmıştır. AgregA miktarları Çizelge 3'de verilen şekli ile tüm numunelerde sabit miktarda kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan doğal zeolit, su ve çimento miktarları ise Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Beton üretiminde kullanılan su, çimento ve doğal zeolit miktarları

Numune Kodu	Su (kg)	Çimento (kg)	Doğal zeolit (DZ, %)
DZ 0	2,13	4,45	0
DZ 10	2,13	4,00	10
DZ 15	2,13	3,78	15
DZ 20	2,13	3,56	20
DZ 30	2,13	3,11	30

Farklı zeolit katkılı karışımlarda (%0, %10, %15, %20 ve %30) üretilen beton numunelerinden elde edilen örneklerin SEM ve XRD analizi İnönü Üniversitesi İBTAM Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'de bu numunelere ait SEM görüntüsü ve Şekil 5'de XRD analiz sonuçları yer almaktadır.



Şekil 4. Beton numunelere ait SEM görüntüsü

TS EN 12390-2 “Beton – Sertleşmiş beton Deneyleri – Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi” standardına uygun olarak hazırlanmıştır (TS 12390-2, 2010).

Beton üretiminde kullanılan agregalar TS 802 “Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları” standardında belirtilen şekli ile hazırlanmıştır (TS 802, 2009).

2.2.2 Numunelerin kürlenmesi

Hazırlanan numunelerin hepsi 24 saat süresince laboratuvarında ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) kalıpta beklemeye bırakılmıştır. Bu sürenin sonunda numuneler TS 12390-2 “Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi” standardına uygun olarak kür havuzunda korunarak 28 gün bekletilmiştir (TS 12390-2, 2010).

2.2.3 Slump deneyi

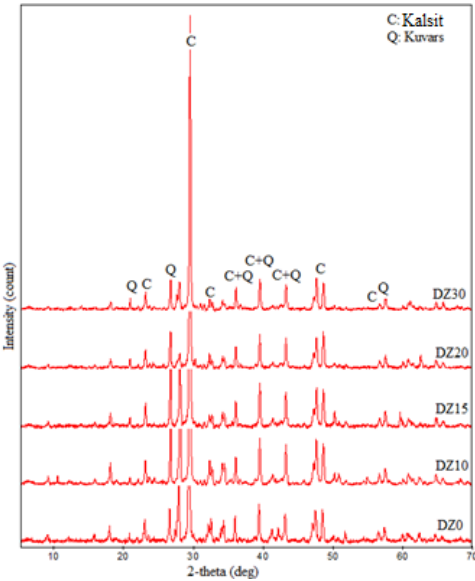
Slump deneyi, TS EN 12350-2 “Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi” standardına uygun olarak yapılmıştır (TS EN 12350-2, 2010).

2.2.4 Numunelerin basınç dayanımlarının tayini

Hazırlanan beton numuneleri 28. günde TS EN 12390-3, “Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini” standardına göre basınç dayanım deneyine tabi tutulmuştur (TS EN 12390-3, 2003).

2.2.5 Ultrasonik ses geçirim deneyi

Ultrasonik test cihaz ile betonun içerisine gönderilen ses üstü dalgaların betonun bir yüzeyinden diğer yüzeyine geçme süresi ölçülüp, dalga hızı hesaplanmaktadır. Bulunan bu ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki elde edilmektedir (Erdoğan, T.Y., 2003). Ultrasonik ses geçirgenliği deneyi her grup için 3'er adet küp numuneler ($150 \times 150 \times 150$ mm) üzerinde uygulanmıştır. Beton numunenin bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalganın diğer yüzeyine ne kadar



Şekil 5. Beton numunelere ait X-ışınları Difraktogramları

2.2 Yapılan Deneyler

2.2.1 Numunelerin hazırlanması

Beton numuneleri Hekimhan Mehmet Emin Sungur MYO Yapı Denetim Laboratuvarında

zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı Formül 1'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$V = \frac{S}{t} \times 10^3 \quad (1)$$

Burada; V = Ses üstü dalga hızı (km/sn),

S = Numunenin ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre),

t = Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı diğer yüzeye kadar geçen zamandır (mikro saniye) (Erdoğan, 2003, ASTM C 597, 1994)

3 BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Birleşik zemin sınıflandırma sistemine göre zeolit numunelerinin CH (yüksek plastik kil) grubu zemin olduğu belirlenmiştir (Genç, D., 2011).

Çizelge 2'ye göre kullanılan doğal zeolitin oksit analizi sonucu $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplamı % 77.52-78.99 arasındadır. ASTM C618'e göre bu değer min. %70 olmalıdır (Najimi et al., 2012). Buna göre numuneye ait $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplamı bu koşulu sağlamaktadır.

Doğal zeolitin XRD analiz sonucuna göre zeolitin yapısında ana mineral olarak klinoptilolit olduğu görülmektedir. Bunun yanında kalsit minerali de tespit edilmiştir. Zeolit örneklerinin SEM görünümünde ise katmanlı mikroyapıda olduğu görülmektedir.

Çimento örneğine ait XRD analiz sonucuna göre ana mineralin Hatrurit (Ca_3SiO_5) olduğu görülmektedir.

Farklı oranlarda zeolit kullanılarak elde edilen beton numunelerine ait XRD analizi sonuçlarına göre Kalsit (CaCO_3) ve Kuvars (SiO_2) minerallerinin varlığı tespit edilmiştir. Aynı numunelerin SEM görüntülerine göre iğnemsî yapıdaki etrenjit kristallerinin kırık yüzeylerde yayıldığı görülmektedir. Zeolit miktarı arttıkça Etrenjit oluşumlarının da arttığı SEM görüntülerinden tespit edilmiştir. Etrenjit oluşumu basınç dayanımına olumsuz tesir etmektedir (Sallı B., 2011).

TS EN 12350-2 standardına uygun olarak yapılan slump deney sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6'ya göre farklı oranlarda hazırlanan karışımlardaki zeolit miktarı arttıkça karışımın slump değerlerinin düştüğü gözlenmiştir.

Çizelge 6. Slump deney sonuçları

Örnekler	Slump değerleri (mm)	Sınıfı
DZ0	80	S2
DZ10	75	S2
DZ15	30	S1
DZ20	18	S1
DZ30	10	S1

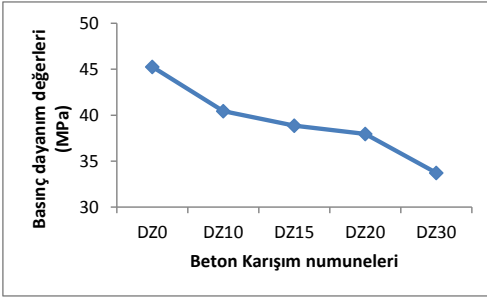
Zeolit içermeyen kontrol numunesinin (DZ0) slump değeri 80mm ve sınıfı S2 iken, %30 zeolit içeren numunenin (DZ30) slump değeri 10mm ve sınıfı S1 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 7'de beton numunelerinin 28 günlük ortalama basınç dayanım değerleri yer almaktadır.

Çizelge 7. Beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanım değerleri

Örnekler	Basınç Dayanım Değerleri (MPa)			
	1	2	3	Ort
DZ0	44,76	45,77	45,28	45,3
DZ10	39,66	41,17	40,49	40,4
DZ15	38,58	38,42	39,59	38,9
DZ20	37,57	37,9	38,43	37,9
DZ30	33,39	34,5	33,28	33,7

Şekil 6'ya göre; farklı karışım oranlarındaki beton numunelerinin zeolit miktarı arttıkça basınç dayanımında düşme görülmüştür.



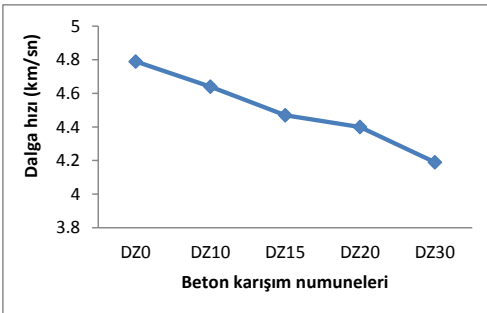
Şekil 6. Beton karışım numunelerinin basınç dayanım değerleri

Çizelge 8'de Beton numuneleri ultrasonik ses geçirim deney sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 8. Beton numuneleri ultrasonik ses geçirim deney sonuçları

Örnekler	Ultrasonik ses geçirim deney sonuçları (km/s)			
	1	2	3	Ort
DZ0	4,79	4,85	4,73	4,79
DZ10	4,7	4,56	4,66	4,64
DZ15	4,59	4,66	4,56	4,60
DZ20	4,49	4,52	4,17	4,39
DZ30	4,12	4,49	3,58	4,06

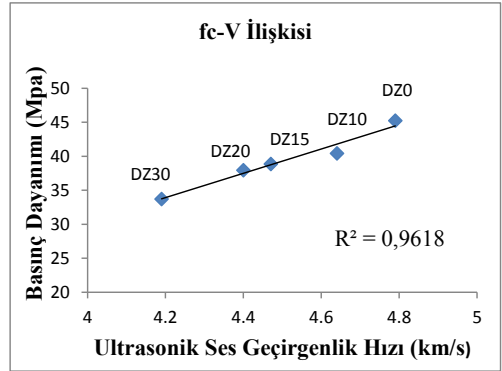
Çizelge 8 incelendiğinde DZ0, DZ10 ve DZ15 numunelerinde 4,5 km/sn'den büyük dalga hızı elde edilmiştir. DZ20 ve DZ30 numunelerinde ise 4-4,5km/sn arasında değerler elde edilmiştir. Beton numunelerinin zeolit miktarlarına göre ultrasonik ses geçirim değerlerindeki değişim Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Beton karışım numunelerinin ultrasonik ses geçirim hızları

Karışımlardaki zeolit miktarları arttıkça numunelerdeki boşluk oranları artmış, ultrasonik ses geçirim hızı da buna bağlı olarak azalmıştır.

Şekil 8'e göre ultrasonik ses geçirim hız sonuçları, basınç dayanımları ile uyumluluk göstermektedir.



Şekil 8. Beton karışım numunelerinin Basınç dayanım ve ultrasonik ses geçirim hızı ilişkisi

4 SONUÇLAR

- Malatya Hekimhan bölgesi Doğal Denizel Zeolitleri ilk kez bu alanda kullanılmış ve birçok özelliği ortaya konmuştur. Bundan sonraki çalışmalarda farklı kullanım özellikleri değerlendirilebileceği düşünülmektedir.
- Zeolit, doğal bir moleküler elek olması, çimentoya oranla düşük özgül ağırlığa sahip olması, yüksek silis içeriği, bağlayıcı özellik taşıması, kolay elde edilebilir ve ucuz olması gibi nedenlerle bu çalışmada katkı malzemesi olarak kullanılmıştır.
- Zeolit kullanılması ile elde edilen betonun mekanik ve durabilite özellikleri araştırılmıştır.
- SEM görüntülerinden farklı zeolit miktarlarında oluşturulan beton numunelerinde zeolit miktarının artmasıyla Etrenjit oluşumunun arttığı

belirlenmiştir. Bu da beton numunelerinde zeolit katkının artmasıyla basınç dayanımının düşmesini desteklemektedir.

- Üretilen beton numunelerinin basınç dayanım değerlerinin standart sınırlar içerisinde kalması, üretiminde kullanılan doğal zeolitin bağlayıcılık özelliği nedeniyle puzolanik aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Farklı oranlarda zeolit katılarak elde edilen karışımların DZ0 ve DZ10 nolu örneklerde slump sınıfları S2 ve diğerlerinde ise S1 olarak tespit edilmiştir. Buna göre zeolit miktarı arttıkça karışımların slump değeri düşmektedir.
- Elde edilen beton serileri TS EN 206'ya göre C25/30 sınıfına girmektedir. Katkı maddesi olarak kullanılan zeolit numunelerinde dayanım sınırı DZ30 hariç sağlanmıştır (TS EN 206).

TEŞEKKÜR

Çalışmaya verdiği destekten dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimine, (Proje No:2015/22, 2014/10, 2012/30) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- ASTM C 597, Standard Test Method For Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standarts, 1994.
- D. Genç, Zemin Mekanikliği ve Temeller, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No: 100, 2011.
- Erdoğan, T. Y., 2003. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara.
- Markiv, T., Sobal, K., Franus, M., Franus, W., 2016, Mechanical and durability properties of concretes incorporating natural zeolite, Archives of civil and mechanical engineering 16, 554-562.
- Najimi, M., Sobhani, J., Ahmadi, B., Shekarchi, M., 2012, An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural puzolan, Construction and Building Materials, 35, 1023-1033.
- Önal, M., 2007. Hekimhan (Malatya) Dolayındaki Zeolit Minerallerinin Jeolojisi ve

Karakterizasyonu, İ.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, Proje No: 2006/32.

- Bideci, S., Bideci, Ö., Oymael, S. A., (2011), The Effect of MgO Admixture on Cement Pastes and Mortars. XIII. International Congress on the Chemistry of Cement. 129. Madrid.
- TS EN 206 "Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk", 2014.
- TS 802 "Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları", 2009
- TS EN 934-2+A1, Kimyasal katkılar - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, 2014.
- TS 1900-1 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri- Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini
- TS EN 12350-2 "Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi", 2010.
- TS EN 12390-2 "Beton - Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması", 2010
- TS EN 12390-3, "Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri -Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanım Tayini", 2010.

Kırma Kumlu Taze Harçlara Elektriksel Yöntemle Hızlandırılmış Kür Uygulaması

Rapid Curing Application with Electrical Method on Fresh Mortar Containing Crushed Sand

T. Uygunoğlu

Afyon Kocatepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

İ.B. Topçu

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

İ. Hocoğlu, B. Selçuk

Afyon Kocatepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

ÖZET Betonun dayanımını erken kazanması ve daha kısa sürede servise sunulması, gelişmekte olan endüstrileşmenin bir sonucudur. Çeşitli yöntemler uygulanarak betona erken dayanım kazandırılmaktadır. Elektriksel gerilim uygulanarak hızlandırılmış kür uygulaması da başlıca bir kür yöntemidir. Bu çalışmada, beton dozajının ve gerilim şiddetinin elektriksel kür yöntemine etkisi ve yerinde uygulanabilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, farklı doz ile üretilen taze harca farklı gerilim değerlerinde elektrik uygulanmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Bu sırada harcın priz süresi belirli zaman aralıklarında ölçülmüştür. Aynı işlemler elektrik uygulanmayan harçlarda da gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre harca elektrik uygulanmasıyla priz süresinin kısaldığı gözlenmiştir.

ABSTRACT The necessity of early strength in concrete and the growing demand in construction sector in a short time is a result of developing industry. Early strength has been achieved on cement based grout through applying various methods. Accelerated curing application with electrical stress is one of the curing methods. In this study, the effect of size of the cement dosage on electrical curing method and its applicability in place was examined. Experimental studies were performed by electrical stress application on fresh mortar that placed to mold and containing the different cement dosage. At the same time, setting time of mortar was measured at different periods. Same processes were applied on plain mortars. According to obtained results, it was observed that setting time of mortars was shortened by electrical stress application.

1 GİRİŞ

İnşaat sektöründe artan talebi, en kısa zamanda ve ekonomik biçimde karşılayabilmek amacıyla seri üretim ve sanayileşme gereksinimi artmaktadır. Betonun dayanımını erken kazanması ve daha kısa sürede servise sunulması, gelişmekte olan endüstrileşmenin bir sonucudur (McCarter et al. 2003). Bu sonuca

ulaşmak için de betona çeşitli yöntemlerle hızlandırılmış kür uygulanmakta ve betona erkenden dayanım kazandırılmaktadır. Başlıca kür yöntemleri, sıcak su kürü yöntemi, kaynar su kürü yöntemi, otojen kür yöntemi, değiştirilmiş sıcak su yöntemi, mikrodalga kür yöntemi, prefabrik beton imalatında buhar kürü uygulaması ile hızlandırılmış kürdür. Ancak uygulanan

yöntemlerin neredeyse hepsi ön üretimli olarak üretilen betonlara uygulanabilmektedir. Yerinde dökülen betonlara uygulanan hızlandırılmış kür yöntemleri ise oldukça kısıtlıdır. Hidratasyon süresine bağlı olarak, hızlandırılmış kür, seri üretimin söz konusu olduğu hazır beton tesislerinde beton dayanımının erkenden hedeflenen düzeye ulaşması projenin öngörülen zamanda gerçekleştirilebilmesi açısından önemlidir. Ayrıca dayanım düzeyinin erkenden tespiti, tesisin hem performansı ve ekonomisi bakımından hem de kalite kontrol ve kalite güvence yaklaşımında belirleyici rol oynaması bakımından da son derece önem arz etmektedir.

Beton iletken bir malzeme değildir, ancak prizini alıncaya kadar su içeriğinden dolayı iletkenlik özelliği gösterir. Ayrıca beton içerisine katılan mineral katkıları betonun elektrik direnci açısından farklılık göstermektedir. Betonun elektrik iletkenliğinin ölçümü için çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve çimentonun mikroyapı gelişimlerini inceleyen çeşitli uygulama çalışmaları yapılmıştır (McCarter et al. 2003; Whittington et al. 1981). Betonun elektrik iletkenliği, çimento esaslı sistemlerde iyonların boşlukta hareket etmeleriyle açıklanabilir. İletkenliğin hem poroziteye hem de boşluk miktarının iletkenliğine bağlı olduğu düşünülmektedir. Çimento pastası ve çimento esaslı harç prizini alıncaya kadar elektriksel iletkenlik gösterdiği, priz sona erdikten sonra ise elektriksel direncin en yüksek değerlere ulaştığı önceki araştırmalar göstermektedir.

Yapılan bir araştırmada çimento pastalarındaki su/bağlayıcı oranı çimento hidratasyon alkali etkisi ve çimento pastasının akışkanlaştırıcılığı araştırılmıştır (Whittington et al. 1981). Su/bağlayıcı oranıyla elektriksel direnç karşılaştırılarak, elektriksel direnç arttıkça, ısı artışı olacağı tahmin edilmiştir. Topçu vd. (2012) farklı

su/çimento oranlarına sahip (0.40, 0.45, 0.50, 0.55) ve farklı oranlarda mineral katkı içerikli (%0, %10, %20, %30) çimento pastalarına elektrik akımı uygulamışlar, çimento pastalarına hem mineral katkı konması hem de elektrik akımı uygulanması ile priz süresinin kısaltılabileceğini belirlemişlerdir. Backe et al. (2001) iletkenlik, porozite, çimento kimyası ve iyon içeriği arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Teorilerine göre porozitenin artması iletkenliğin artmasıyla ilişkili olduğu, dolayısıyla hidratasyon derecesiyle de ilgili olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Sonuç olarak priz süresinin kısaltılmasıyla kalıp alma süresini kısaltmak, çabuk tamirat gerektiren veya prefabrik gibi hızlı üretim yapılması gereken yapı elemanları için bu çalışma büyük önem arz etmektedir.

2 DENEYSEL ÇAŞILMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler

Harçların elektriksel direnci üzerindeki etkisinin ortaya konulması amacıyla dağlı fazı aşamasında kırma kum kullanılmıştır. Kullanılan kumun özgül ağırlığı 2.7 ve en büyük tane boyutu 4 mm'dir. Bağlayıcı olarak Afyon Çimento Sanayi Fabrikasının üretimi olan TS EN 197-1'e uygun CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır.

2.2. Numunelerin Üretimi

Harç üretimleri, farklı dozajlarda (250, 300, 350 ve 400) ve sabit su/çimento oranında (0.50) tasarlanmış olup, kapasitesi yaklaşık 5 lt olan harç mikseri ile gerçekleştirilmiştir. Birim hacimdeki bileşen miktarları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Birim hacimdeki harç bileşenleri

Seri	Çimento, kg/m ³	Su, lt/m ³	Kırma Kum, kg/m ³
M1	250	125	2104
M2	300	150	1993
M3	350	175	1882
M4	400	200	1771

Harçların karışımında, agrega ve çimento ile 1 dakika boyunca kuru karışım yapıldıktan sonra karışım suyunun yaklaşık üçte ikisi karışıma ilave edilmiştir. Kalan su içerisinde kimyasal katkı çözülerek karışıma katılmış ve 3 dakika daha karışıma devam edilmiştir. Hazırlanan harçlar 15x15x15 cm boyutlu plastik küp kalıplar içerisine yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen numunelerin bir bölümüne doğru akım (DC) kaynağından 30 V gerilim uygulanmıştır. Gerilimin uygulanabilmesi için kalıp yan kenarlarına temas edecek şekilde taze harç içerisine karşılıklı olarak bakır levhalar yerleştirilmiştir. Levhalardan birine pozitif, diğerine negatif uç bağlanmak suretiyle 24 sa boyunca gerilim uygulanmıştır. Numunelerin bir bölümü de gerilim uygulanmadan laboratuvar şartlarında prizini alması sağlanmıştır. Her iki gruptaki numunelerde priz süresi ölçümleri için TS 2987 standardına göre Penetrasyon deney aleti kullanılmıştır (Şekil 1).

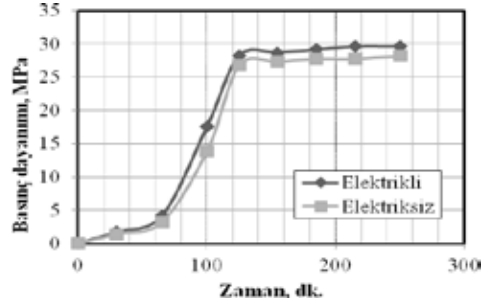


Şekil 1. Taze harçlarda priz süresi ölçümü

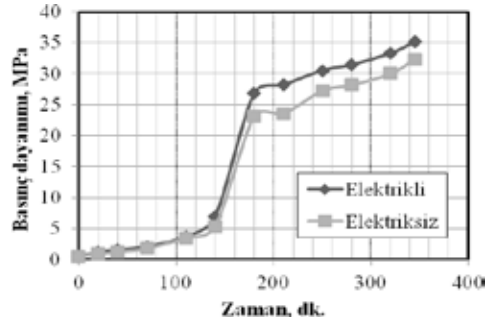
Zamana bağlı olarak taze harç üzerinde ölçülen penetrasyon dirençleri uygulanan alana oranlanmak suretiyle penetrasyon gerilim değerleri elde edilmiştir. Bu gerilim değerleri 3.5 MPa olduğunda priz başladığı; 28 MPa olduğunda ise priz sona erdiği standartta belirtilmiştir. Taze harç üzerinde bahsedilen penetrasyon basınç gerilme değerleri için geçen süreler kaydedilerek priz başlangıç ve bitiş süreleri elde edilmiştir.

3 DENEYSEL SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

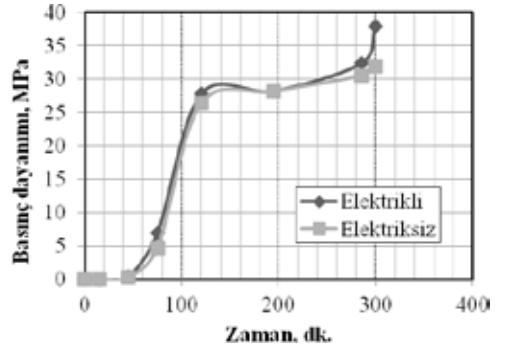
Çimento miktarlarına bağlı olarak harçların penetrasyon yöntemiyle ölçülen priz süreleri elektrik uygulanan ve uygulanmayan harçlar için Şekil 3-Şekil 5'te aynı grafik ortamında karşılaştırılmıştır.



Şekil 2. 250 dozlu harçlarda priz süresi ölçümü



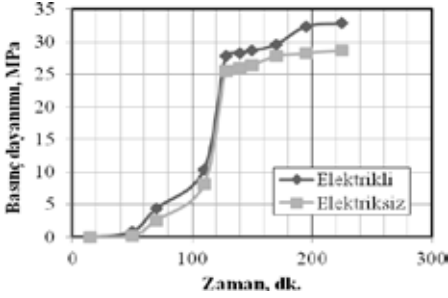
Şekil 3. 300 dozlu harçlarda priz süresi ölçümü



Şekil 4. 350 dozlu harçlarda priz süresi ölçümü

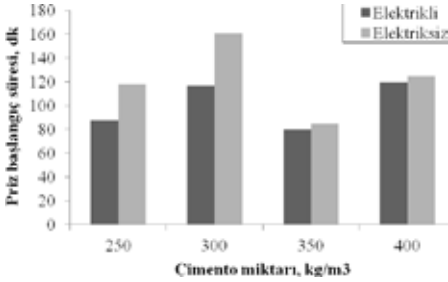
Tüm çimento içeriklerinde taze harçların penetrasyon dayanımları elektrik uygulanması durumunda normal

koşullardaki harçlara göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır.

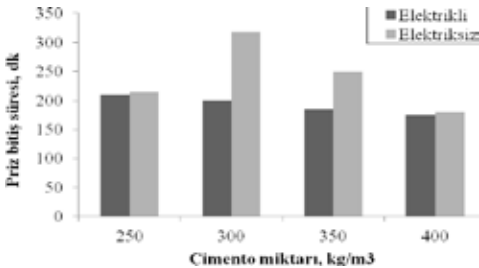


Şekil 5. 400 dozlu harçlarda priz süresi ölçümü

Penetrasyon dayanımlarının daha yüksek olması harcın daha kısa sürede prizini aldığı göstermektedir. Penetrasyon dayanımlarından faydalanmak suretiyle 3.5 MPa ve 28 MPa dayanım değerlerine karşılık gelen katılma süreleri belirlenerek Şekil 6 ve Şekil 7'de elektrik uygulanan ve normal koşullarda kür edilen elektriksiz harçlar için sırasıyla priz başlangıç ve priz bitiş süreleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. Harçların priz başlangıç süreleri



Şekil 7. Harçların priz bitiş süreleri

Şekil 6 incelendiğinde, harca elektriksiz gerilim uygulanmasının özellikle düşük dozlu karışımlarda priz süresini kısaltmada daha etkili olduğu görülmektedir. Priz başlangıç süresi 2.83 sa olan 300 dozlu

harçlara elektrik uygulanmasıyla priz başlangıç süreleri 2 sa'e kadar kısaltılabilmektedir. 350 ve 400 kg/m³ çimento içeren harçlarda ise elektrik uygulanan ve uygulanmayan harçların priz sürelerinde fark görülmüşse de bu fark düşük dozlu harçlardaki kadar fazla değildir. Priz bitiş süreleri de benzer özellikler göstermiştir. Ancak bitiş sürelerindeki en fazla fark 300 ve 350 dozlu harçlarda elde edilmiştir. Diğer harçlarda ise priz bitiş sürelerinde elektrik uygulanmasının önemli bir etkisi olmamıştır. Sonuç olarak, 30V gibi düşük gerilim ile özellikle 300 kg/m³ miktarına kadar çimento içeren harçlara elektriksiz gerilim uygulanmasıyla 80 dk daha hızlı priz alacaktır.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada kırma kum içeren çimento esaslı harçlara 30V doğru akım gerilimi uygulanması sonucunda priz sürelerindeki değişimler incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre elektrik gerilimi uygulanan harçlarda 300 dozda priz süresi 80 dk daha kısa sürede tamamlanırken bitiş süreleri de 140 dk daha erken sürede tamamlanmıştır. Çalışmanın farklı gerilim ve farklı mesafelerde uygulanmasıyla daha kapsamlı sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmayı 16.FEN.BİL.43 Nolu BAPK projesi olarak destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne ve Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

- Backe, K. R., Lile, O.B., Lyomov, S.K. (2001). "Characterizing curing cement slurries by electrical conductivity", SPE Drilling and Completion, 16, 201-207
- McCarter, W. J., Chrisp, T. M., Starrs, G., Blewett, J., (2003). Characterization and monitoring of cement-based systems using intrinsic electrical property measurements, Cement and Concrete Research, 33, 197-206.
- Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T. and Hocoğlu, İ. (2012). Electrical conductivity of setting cement paste with different mineral admixtures. Construction and Building Materials, 28: 414-420.
- Whittington, H. W., McCart, J., Forde, M. C. (1981). "The conduction of electricity through concrete", Mag Concr Res, 33, 48-60.

Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Rötire Azaltıcı Katkının Taze Beton Özelliklerine ve Basınç Dayanımına Etkisi

The Effect of Shrinkage Reducing Admixtures to Fresh Properties Concrete and Compressive Strength of Self Compacting Concrete

E. Tekin

Kırıkkale Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, İnşaat Mühendisi, Kırıkkale

İ. Demir, H. Acer, M. Kantar, A. H. Hafızoğulları, Ş. Bakırcı Er, Ö. Sevim

Kırıkkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale

ÖZET Bu çalışmada son yıllarda kullanım alanı gittikçe yaygınlaşan fakat henüz istenilen seviyeye gelmeyen ileride geleneksel betonun yerini alması beklenen özel bir beton türü olan Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda(KYB), Rötire Azaltıcı Katkı Maddesi(SRA)'nin taze beton özellikleri ve basınç dayanımına olan etkisi incelenmiştir. %0,95 oranında polikarboksilat katkılı süperakışkanlaştırıcı kullanılarak referans KYB ve optimum Rötire Azaltıcı Katkı maddesi dozajı belirlenerek SRA katkılı KYB numuneler üretilmiştir. Bu beton numuneler üzerinde; çökme yayılma ve T500, V hunisi ve L kutusu deneyleri yapılarak taze beton özellikleri belirlenmiştir. Bu taze betonlardan alınan numunelerin 2, 7, 28, 90 günlük basınç dayanımları tespit edilmiş ve sertleşmiş betonun basınç dayanım özellikleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler; Kendiliğinden Yerleşen Beton, Rötire Azaltıcı Katkı Maddesi, Basınç Dayanımı, Taze Beton Deneyleri

ABSTRACT In this research, the effect of Shrinkage Reducing Admixture (SRA) to fresh properties concrete and compression strength of a special type of a concrete called Self Compacting Concrete (SCC), which has a wide spread application area in recent years but not achieved the expected level and is predicted to replace the conventional concrete SRA in the future, has been investigated. SRA concrete samples were produced by using reference SCC and superplasticizer with %0,95 polycarboxylate additive, specifying optimum dosage of SRA. Slump flow and T50, V funnel, L box tests are used to identify properties of fresh concrete on these samples. Compressive strength of 2, 7, 28, 90 day samples were found and compressive strength properties of hardened concrete were investigated.

Keywords; Self Compacting Concrete, Shrinkage Reducing Admixture, Compressive Strength, Fresh Concrete Tests

1.GİRİŞ

Beton, insanlık tarihi boyunca en çok kullanılan yapı malzemesidir. Kişi başına düşen beton kullanım miktarı birçok temel besin maddesini geçmiş bulunmaktadır. Beton, karayollarında, tünellerde, barajlarda, havaalanlarında, köprülerde, üst yapılarda, sanat yapılarında vb. yaşama ait nerdeyse tüm alanlarda kullanılmakta ve betondan herkes kendi sektörüne göre farklı bir özellik

beklemektedir. Bu farklı özellikler de betonun ana ham maddesini oluşturan çimento, su, agregadan farklı olarak mineral katkıları, kimyasal katkıları, çelik, cam ve polipropilen liflerin ilave edilmesiyle sağlanmaktadır. Beton teknolojisine yeni bir düzey getiren süper ve hiper akışkanlaştırıcıları sayesinde yüksek performanslı beton üretimi gerçekleştirilmiştir. İşlenebilir ve

dayanımdaki çıkmazlar bu katkılar sayesinde aşıldı.1980’li yıllarda süper akışkanlaştırıcı katkıları arasına polikarboksilat esaslı katkıların eklenmesiyle daha yüksek dayanımlı, akıcı ve kendiliğinden yerleşen betonların üretilmesi sağlandı (Akman vd., 2005).

Betonlarda dayanım ve dayanıklılık sorunlarını çözmek için Tokyo Üniversitesi’nde Okamura tarafından bir proje çalışması başlatıldı. Bu çalışmanın sonunda beton yapıların bozulmasının en sık nedeni yetersiz sıkıştırma olarak belirlendi. Bu sıkıştırma problemini ortadan kaldırmak için taze beton karışımında akışkanlık artışı önerdi.

Kendiliğinden yerleşen beton kavramı da ilk olarak 1988 yılında Okamura tarafından sistematize edildi ve başlangıçta yüksek performanslı beton olarak adlandırıldı (Li, 2011).

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), donatı aralığı sık ve kesit genişlikleri derin olan kalıplara, kendi ağırlığı ile sıkıştırma enerjisine gerek kalmadan yerleşen, aynı anda bu kriterleri sağlarken ayrışma, kuma gibi problemler yaratmayan özel bir betondur. KYB’nin kendiliğinden yerleşebilme özelliğinin yanında; yapım süresini kısaltma, işçilik maliyetini azaltma, vibrasyon kaynaklı ses kirliliğini önleme gibi geleneksel betona göre birçok avantajı vardır (Felekoğlu vd., 2004, Tohumcu vd., 2013).

KYB’lerin performansları ile taze beton özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. KYB’ler geleneksel betonlar gibi sadece basınç dayanım sınıfı ile değil taze hal özellikleri ile de sınıflandırılmaktadır. Kendiliğinden yerleşme yeteneği üç parametre ile karakterize edilebilir: doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneğidir (Kılınç, 2012, Felekoğlu vd., 2014).

KYB’ler yüksek dayanımlı beton sınıfları arasında kendisine yer edinmiştir. KYB’lerin fazla oranda ince malzeme içermesi, su/çimento oranının düşük tutulması nedeniyle geleneksel (konvaksiyonel) betona göre daha fazla rötre problemi ile karşı karşıya gelmektedir. Rötreyi, betondaki su kaybı nedeniyle betonda meydana gelen hacimsel

değişiklik veya daha genel bir tanım olarak betonda büzülme olarak tarif edebiliriz. Rötre betonda birçok istenmeyen duruma neden olur. Rötre, betonun basınç dayanımını azalttığı gibi betonda yüzeysel ve derin çatlaklara neden olur. Ayrıca rötrenin betonu hem statik açıdan, hem de mimari açıdan etkileyerek yapının ekonomik ömrü üzerinde de belirleyici bir etkisi vardır. Rötre Azaltıcı Katkı Maddesi(SRA), rötre kontrolünde son derece etkili olduğu tespit edilmiştir. SRA’lar düşük viskoziteye sahip olmaları ve kılcak boşluklardaki yüzey gerilmelerini azaltmaları nedeniyle önemli derecede rötre düzenlemede olumlu etki eder. Bunun yanında boşluk yapısı üzerinde etkisi nedeniyle çimento hidrasyonunu yavaşlatarak betonun dayanımı üzerinde olumsuz etkiye neden olur (Kar vd., 2016, Kadioğlu vd., 2007).

Bu çalışmada KYB’lerde, SRA’ların taze beton özelliklerine ve basınç dayanımına olan etkisi incelenmiştir. %0,95 oranında polikarboksilat katkılı süperakışkanlaştırıcı kullanılarak referans KYB ve optimum SRA dozajı belirlenerek (%1) SRA katkılı KYB numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler üzerinde taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton üzerinde ise basınç dayanım tayini deneyleri yapılarak Referans KYB ve SRA katkılı KYB’nin deneysel sonuçları mukayese edilmiştir.

2. MALZEME VE METOT

2.1 Kullanılan Malzemeler

Bu çalışma sırasında KYB üretiminde kullanılacak olan tüm malzemeler laboratuvar ortamında depolanmıştır. Çalışma esnasında malzemelerin değişiklik göstermemesi için hep aynı malzeme stoğundan malzeme kullanılmıştır. Bu malzemelerin ve çalışmada kullanılan katkıların özellikleri aşağıda verilmiştir.

2.1.1 Çimento

Kendiliğinden yerleşen beton numunelerin hazırlanması aşamasında karışımlarda, Baştaş Başkent Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş tarafından üretilen ve TS EN 197- 1

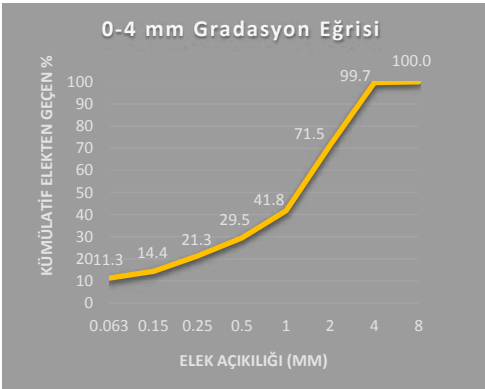
standartlarına uygun CEM I 42,5 R Portland çimento kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal özellikleri

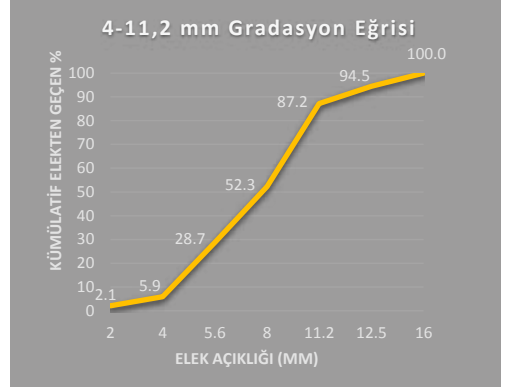
Kimyasal Bileşim	(%)
SiO ₂	19,38
Al ₂ O ₃	5,00
Fe ₂ O ₃	3,16
CaO	63,11
MgO	1,80
Na ₂ O	0,35
K ₂ O	0,91
SO ₃	3,16
Kızdırma Kaybı	3,07

2.1.2 Agregalar

Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen beton numunelerinin üretimi esnasında Ankara’nın Mamak İlçesine bağlı Kutludüğün Köyü’ndeki taş ocağından çıkarılan, 0-4 mm boyutlarında, özgül ağırlığı 2,67 g/cm³, su emmesi %1,2 olan ve incelik modülü 3,2 olan kırma taş ve 4-11,2 mm boyutlarında, özgül ağırlığı 2,70 g/cm³, su emmesi %0,25 ve incelik modülü 4,3 olan kırma taş olmak üzere 2 çeşit kırmataş agregaya kullanılmıştır. Agregalara ait granülometri eğrileri ise Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. 0-4 mm agregaya ait granülometri eğrisi



Şekil 2. 4-11,2 mm agregaya ait granülometri eğrisi

2.1.3 Su

Elde edilen karışımlar için kullanılan suyun temiz ve betona olumsuz bir etkisinin olmaması gerekir. İçilebilir olan suların betonda kullanımı uygundur. Elde edilen karışımlar için ve kür havuzunda Ankara ili şehir içi şebekesinden elde edilen musluk suyu kullanılmıştır.

2.1.4 Akışkanlaştırıcı katkı

Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen beton üretimi sırasında, TS EN 934-2 Ç3.1/Ç3.2 standardına uygun Chryso firmasına ait Chryso Fluid Optima 284 adıyla üretilmiş ve piyasaya sürülmüş, 100 kg çimento için 0,8 kg ile 2 kg arasında kullanım dozajı tavsiye edilen, fakat optimum dozajı yapılacak deneylerle belirlenecek olan, yeni jenerasyon polikarboksilat destekli yüksek oranda su azaltıcı, süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkının kimyasal özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir

Çizelge 2. Karışımda kullanılan süperakışkanlaştırıcının kimyasal özellikleri

Ürün Adı	Chyrso Fluid Optima 284		
Ürün Tipi	Yüksek Oranda Su Azaltıcı/Süper Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı		
	Deney Sonucu	Analiz Standart Değerler	Deney Metodu
Görünüm	Homojen	Homojen	Gözle
Renk	Kahverengi	Kahverengi	Gözle
Yoğunluk(g/cm ³)	1,075	1,060-1,100	ISO 758
Ph	4,98	4-6	ISO 4316
Suda Çözünabilir Klor(%)	0,04	< %0,1	EN 480-10
Katkı Madde Miktarı(%)	30,44	28,97-32,02	EN 480-8
Alkali Miktarı	<%6	<%6	EN 480-12

2.1.5 Rötire azaltıcı katkı maddesi (SRA)

Bu çalışma kapsamında Rötire azaltıcı katkı maddesinin KYB’de basınç dayanım etkisi incelenmiştir. Rötire azaltıcı katkı maddesi olarak, İksa İnşaat Katkıları San. ve Tic. Ltd. Şti.’nin SRA-50 ismiyle ürettiği rötire engelleyici katkı maddesi kullanılmıştır. Bu katkı maddesine ait kimyasal özellikler Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. SRA-51 katkısının kimyasal özellikleri

Marka	İKSA SRA -50
Sınıf	Rötire Engelleyici Katkı
Görünüm	Kahve Renkli Viskoz Sıvı
Yoğunluk	1,40±0,03 kg/L
Ph	13,00±1
Standart	ASTM C 494, TS EN 934-2
Dozaj Aralığı	%0,5-%2

2.2 Metot

2.2.1 Deney numunelerinin hazırlanması

KYB deney numuneleri laboratuvar koşullarında hazırlanmıştır. Numunelerde bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42,5 R Portland çimento, 2 çeşit agrega ve şebeke suyu kullanılmıştır. Referans KYB’de üretici firmanın tavsiye ettiği dozaj aralığında denemeler yapılması sonucunda %0,95 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanılmış

olup, bu numuneler KYB1 olarak adlandırılmıştır. Optimum SRA dozajını belirlemek için farklı oranlarda SRA kullanılmıştır. Bu numunelere %0,8 , %1 ve %1,2 oranında SRA kullanılmış ve bu betonlar sırasıyla KYB2, KYB3, KYB4 olarak adlandırılmıştır. Yapılan taze beton deneyleri ve 2 günlük basınç deneyleri sonucunda %1 SRA oranı optimum dozaj olarak belirlenmiş ve KYB3 betonun reçetesi ile yola devam edilmiştir. Tüm karışım numuneleri hazırlanırken çimento ve agregalar ilk olarak beton mikserine atılmış, homojen bir karışım sağlanıncaya kadar Şekil 3’de görülen beton mikserinde karıştırılmıştır. Su, süperakışkanlaştırıcı ve SRA daha sonra mikser çalışırken karışıma eklenmiş ve karıştırma işlemi, betondan beklenen kendiliğinden yerleşebilir kıvama gelene kadar devam ettirilmiştir. Basınç deney numuneleri için Şekil 4’te gösterilen 150x150x150 mm boyutlarında plastik küp numune kalıpları kullanılmıştır. Numuneler, herhangi bir sıkıştırma işlemi ve vibrasyon uygulanmadan tek seferde küp kalıplara yerleştirilmiştir. Taze beton deneyleri ise numunelerin karışım işlemi sona erdikten hemen sonra yapılmıştır. KYB beton numuneleri hazırlanırken kullanılan beton reçeteleri Çizelge 4’de verilmiştir.



Şekil 3. Taze betonun mikserde karıştırma işlemi



Şekil 4. Taze betonun küp kalıplara yerleştirilmesi

Çizelge 4. Beton karışım reçeteleri

	KYB 1	KYB 2	KYB 3	KYB 4
Çimento(kg)	400	400	400	400
Su(kg)	183	183	183	183
Kırmataş1 (kg)	1129	1125	1124	1123
Kırmataş2 (kg)	671	669	668	668
SA katkı (kg)	3,8	3,8	3,8	3,8
SRA katkı (kg)	-	3,2	4	4,8
Toplam (kg)	2386,8	2384	2382,8	2382,6
S/Ç	0,45	0,45	0,45	0,45

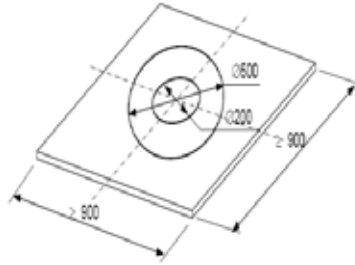
2.2.2 Taze beton deneyleri

TS EN 206-1’de normal beton kıvamları ile ilgili kıvam sınıfları verilmesine karşın, KYB kıvamları için tarif edilmiş herhangi bir bilgi yoktur. KYB’nin tarifinde doldurma kabiliyeti, geçme kabiliyeti, ayrışmaya karşı dirençten söz edilir. Bu belirtilen değerlerin belirli bir sınır içerisinde kalması beklenir ve bunun için bazı deney metotları geliştirilmiştir (Aykan vd., 2004).

2.2.2.1 Çökme yayılma ve T500 süresi deneyi

Çökme yayılma ve T 500 süresi deneyi KYB’nin akıcılığını ve akış hızı süresinin herhangi bir engelle karşılaşmadan test etme yöntemidir. Esasları TS EN 12350-2’ de belirtilen standartlara dayanmaktadır.

Çökme hunisi kaldırılarak betonun tablada kendi ağırlığı ile ne kadar yayıldığı ölçülerek kaydedilir. Yayılma çapının 550-850 mm arası beklenir ve bu değerler arasında sınıflandırılırlar (Ünsal vd., 2008). T500 süresi ise Şekil 5’te görülen yayılma tablası üzerinde işaretli 500 mm sınırına betonun kaç saniyede ulaştığı, 0,1 saniye hassasiyetle ölçüm yapan kronometre ile ölçülüp kaydedilmesiyle bulunur.

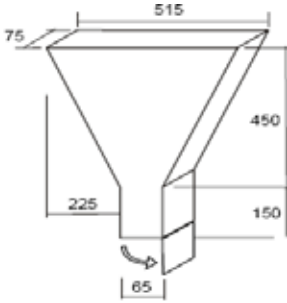


Şekil 5. KYB’de çökme-yayılma tablası

2.2.2.2 V hunisi deneyi

V hunisi deneyin amacı KYB’nin boşluklardan geçebilme yeteneğini ölçmek için ve betonun viskozitesi hakkında fikir elde edebilmek için kullanılır. Şekil 6’de gösterilen V hunisinin üst yüzeyine kadar, taze beton, herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmaksızın doldurulduktan sonra 10±2 saniye beklenilerek, kendi ağırlığı altında

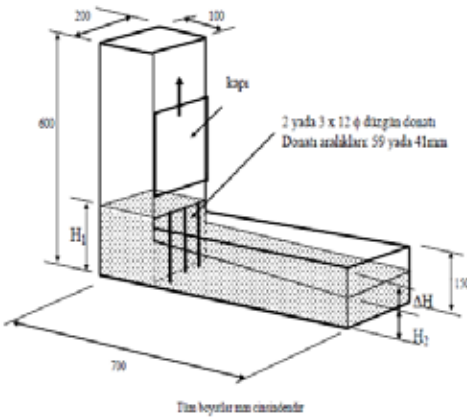
boşalmaya bırakılır. Alttaki kabın ilk görüldüğü ana kadar geçen süre 0,1 saniye hassasiyetle ölçüm yapan kronometre ile ölçülüp, t_v hesaplanıp kaydedilir. Betonun V hunisinden, alttaki kaba geçiş süresi t_v , betonun akma süresi olarak belirlenir.



Şekil 6.V hunisi

2.2.2.3 L kutusu deneyi

L kutusu deneyi KYB'nin donatı çubukları arasından herhangi bir segregasyona uğramadan geçme yeteneği hakkında fikir verir. Taze beton Şekil 7'de gösterilen L kutusunun dikey bölümünün üst yüzeyine kadar herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmaksızın doldurulur. 60 ± 10 saniye beklenildikten sonra transfer kapısı açılarak taze betonun donatı çubukları arasından kendi ağırlığı ile yatay kısma ilerlemesi beklenir. Betonun geçme oranı h_2/h_1 ile ölçülür. Betonun geçme süreleri PA1 ve PA2 olarak sınıflandırılır.



Şekil 7. L kutusu

2.3. Basınç dayanımı tayini

KYB'den beklenen belirli mekanik performans kriterleri vardır. Bu kriterler, karışım reçetesinin optimizasyonuna, kullanılan hammaddenin minimum oranda değişkenlik göstermesine, uygun ortam koşullarına ve üretimde deneyimli elemanlarla çalışılmasına bağlıdır (Baradan vd., 2012). Bu çalışmada basınç dayanımı tayini, TS EN 12390-3'e göre yapılmıştır. Deneylerde $150 \times 150 \times 150$ mm ölçülerinde küp numuneler kullanılmıştır. KYB 1 ve KYB 3 betonlarının 2, 7, 28, 90 günlük basınç dayanımı tayinleri için her bir gün için 3'er adet numune üretilmiştir. Numuneler, TS EN 12390-4'e uygun basınç deney makinasında kırılmaya kadar yüklenmiş ve taşıyabileceği maksimum yük belirlenerek beton basıncı hesaplanmıştır. Daha sonra bu 3'er adet numunenin basınç dayanımı sonuçlarının ortalamaları alınarak ortalama basınç dayanımları esas alınmıştır. SRA katkısının optimum oranını belirlemek içinde KYB2, KYB3, KYB4 betonlarının 2 günlük ortalama basınç dayanımları için de 3'er adet numune üretilmiş ve basınç dayanım sonuçlarının ortalamaları alınmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Taze Beton Deneyi Sonuçları

Laboratuvar koşullarında üretilen KYB1, KYB2, KYB3, KYB4 numunelerine uygulanan taze beton deneylerinin sonuçları aşağıda Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Taze beton deney sonuçları

	Çökme- Yayımla (mm)	T 500 (sn)	V Hunisi (sn)	L Kutusu
KYB1	640	6,50	21,50	0,837
KYB2	615	6,00	28,00	0,820
KYB3	660	4,70	18,07	0,875
KYB4	610	5,00	23,56	0,830

Deney sonuçları incelendiğinde KYB1 referans betonun çökme yayılma değeri 640 mm olarak görülmüş, standartlarda belirtilen çökme yayılma değerlerini sağladığı bunun yanında T500 yayılma süresinin 6,50 saniye olduğu görülmüştür.

KYB1 referans betonunun L kutusu deney sonucu h_2/h_1 değerinin 0,837 olduğu ve standartlarda belirtilen 0,80 şartını sağlamıştır. SRA katkılı numunelerde ise en iyi h_2/h_1 oranı KYB3 nolu betonda sağlanmış olup diğer beton numunelerinde geçiş yeteneğinde bir miktar azalma olduğu görülmüştür.

Tüm numunelerin T500 deney sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. V hunisi deney sonuçlarına bakıldığında KYB1 ve KYB3 betonlarının akış süreleri sırasıyla 21,50 saniye ve 18,07 saniye olduğu görülmektedir. Katkılı numunelerde Çökme yayılma, T500, V hunisi, L kutusu deney sonuçlarına bakıldığında en optimum sonuçların %1 SRA katkılı KYB3 betonunda görüldüğü, SRA katkı oranının %1'in üzerine çıktığında taze beton özelliklerin değiştiği gözlenmiştir.

3.2 Sertleşmiş Beton Deneyi Sonuçları

Optimum SRA dozajını belirlemek için üretilen KYB2, KYB3, KYB4 beton numunelerinin, 2 günlük basınç dayanım tayini deneyleri yapılmıştır. Mekaniksel özellikleri incelemek için ise yola devam edilen KYB3 beton ile referans beton olan KYB1 betonun laboratuvar koşullarında normal su küründe bekletilmesi sonucunda 2, 7, 28, 90 günlük numunelerin basınç dayanım tayinleri yapılmıştır. Sonuçlar aşağıda Çizelge 6 ve 7'de verilmiştir.

Çizelge 6. KYB2, KYB3, KYB4 betonlarının 2 günlük basınç deneyi sonuçları

Numune Yaşı (gün)	KYB2(ort) (MPa)	KYB3(ort) (MPa)	KYB4(ort) (MPa)
2	33,27	31,63	31,73

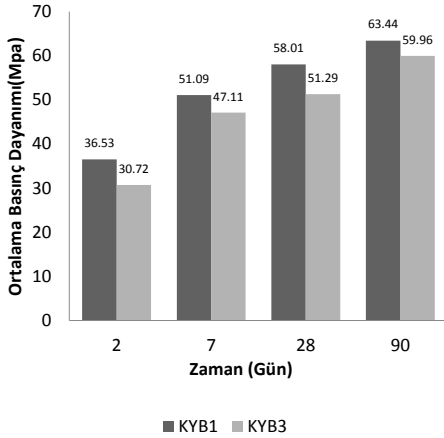
Çizelge 7. KYB1, KYB3 betonlarının basınç deneyi sonuçları

Numune Yaşı (gün)	KYB1(ort) (MPa)	KYB 3(ort) (MPa)
2	36,53	30,72
7	51,09	47,11
28	58,01	51,29
90	63,44	59,96

SRA katkı oranı %0,8 olan KYB2 betonunun 2 günlük basınç dayanımı, referans beton olan KYB1 betonun 2 günlük basınç dayanımı ile kıyaslandığında %9 basınç dayanımı kaybı görülmüştür. Katkı oranı % 1 olan KYB3 betonun 2 günlük basınç dayanımında ise referans beton olan KYB1'in 2 günlük basınç dayanımına göre %14,5'lik bir dayanım kaybı oluşmuştur. SRA dozajı arttıkça basınç dayanımının düşmesi beklenirken %1,2 SRA katkılı numune olan KYB4'de 2 günlük numunenin basınç dayanım kaybı referans beton KYB1'e göre %14,2 olarak görülmüş ve referans beton KYB1'e göre dayanım kaybı gerçekleşmişse de beklenen basınç dayanım kaybı gerçekleşmemiştir. Her ne kadar %0.8 SRA katkılı KYB2 betonun 2 günlük basınç dayanımı, diğer SRA katkılı betonlara göre yüksek çıksa da; betonların taze deney özellikleri de göz önüne alındığında % KYB3 betonun daha optimum sonuçlar verdiği görülmüş ve KYB3 betonun reçetesi ile çalışmalara devam edilmiştir.

Deney gününe kadar laboratuvar koşullarında su küründe bekletilen KYB1 ve KYB3 betonlarının basınç dayanımları incelendiğinde; referans beton olan KYB1'in 7 günlük basınç dayanımı, 28 günlük basınç dayanımının %88'ine karşılık gelirken, %1 SRA katkılı KYB3 betonun,7 günlük basınç dayanımı 28 günlük basınç dayanımının %91,8'ine karşılık gelmektedir. SRA

katkısının etkisi incelendiğinde en fazla basınç dayanım kaybı %16 ile 2.günde meydana gelmiştir. 7. ve 90. günlerdeki basınç dayanım kaybı yaklaşık %7 olmuştur. 28.gündeki basınç dayanım kaybı ise %12,5 civarlarında olmuştur. Beton basınç dayanımlarının karşılaştırmalı grafiği Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. KYB1, KYB3 betonlarının basınç dayanım grafikleri

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

SRA katkısının çimentonun hidrasyonunu geciktireceği için ve SRA katkılı betonların su içinde daha fazla genleşmesiyle betonda bağlar arası mesafenin artması sebebiyle betonun nihai basıncını düşüreceği basınç deneylerinde görülmüştür. SRA katkılı betonlarda yaklaşık % 15 basınç dayanım kaybı gerçekleşmiştir. Beton basınç deneyi sonuçları incelendiğinde referans ve katkılı betonların basınç mukavemetlerinin % 88 ile % 92'sinin ilk yedi günde oluştuğu gözlenmiştir. Erken yaşlardaki basınç kaybı oranın daha belirgin olduğu görülmüştür.

Yapılan deney sonuçlarında SRA katkı oranının betonun taze özelliklerini çok belirgin biçimde olmasa da etkilediği görülmüştür. SRA katkısının yüzey gerilimini düşürdüğü için betonun yerleşmesinde problemler beklenebilir. Fakat yayılma deneyinde SRA katkılı KYB3

betonun referans beton olan KYB1 betonundan daha fazla yayıldığı görülmüştür.

Optimum dozaj belirlenmediği de daha fazla basınç dayanım kayıplarının oluşabileceği ve SRA kullanırken üretici firmanın belirttiği dozaj aralıklarının dikkate alınması gerekliliğinin önemi anlaşılmıştır. SRA kullanılırken basınç dayanım kayıpları dikkate alınarak karışım reçeteleri, s/ç oranları ve çimento seçimi dikkate alınarak deneyimli elemanlarla birlikte çalışma gerekliliği anlaşılmıştır. Farklı süperakışkanlaştırıcı katkıların SRA katkısı ile etkileşimi incelenmelidir. Yüzey gerilimini azaltmak için farklı katkıları kullanarak basınç dayanım kayıplarının önüne geçileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akman, M.S., Akçay, B., 2005 , *Kimyasal Beton Katkılarının Gelişimi Ve Çimentolarla Uyumu*, Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu s.15-32
- Aykan, G., Gürol, G., Tezel, O., Yüceer, Z., 2004, *Kendiliğinden Yerleşen Beton Deneyleri ve Uygulama Örnekleri*, Hazır Beton Kongresi , İstanbul, s.266-276
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S., 2012, *Beton*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:334 , İzmir, s. 678-683
- Felekoğlu, B., Baradan, B., 2004, *Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri*
- Felekoğlu, B., Felekoğlu, K., 2014, *Kendiliğinden Yerleşen Beton Üretiminde Polikarboksilat Esaslı Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Kullanımı*, Hazır Beton Dergisi Temmuz-Ağustos, s.60-69
- Kadıoğlu, T. ,Şengül, C., Şengül, Ö., Akkaya, Y., Taşdemir, M.A., 2007 *Rötre Azaltıcı Katkı Maddeleri*, 2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ,s. 121-130
- Kar S., Sanjay S. S., 2016, *Effect Of Admixtures On Shrinkage Properties In Self Compacting Concrete*, International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume: 05 Issue: 02 | Feb-2016 p.292-296

- Kılınç, C., 2012, *Kendiliğinden Yerleşen Betonlar*, Hazır Beton Dergisi Temmuz-Ağustos, s.70-75
- Li, Z., 2011, *Advanced Concrete Technology*, s. 296-297
- Tohumcu, İ., Bingöl, F., 2013, *Silis Dumanı Ve Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Beton Özellikleri Ve Basınç Dayanımları*, Deü Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt: 15 Sayı: 2 s. 31-44
- TS EN 197-1, 2002, *Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 206-1, 2002, *Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 12350-2, 2010, *Beton-Taze beton deneyleri- Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 12390-3, 2003, *Sertleşmiş Beton Deneyleri: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımını Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Türkiye Hazır Beton Birliği, 2007, *Kendiliğinden Yerleşen Beton Kılavuzu*, s.47-49
- Ünsal, A., Şen, H., 2008, *Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri*, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Laboratuvarları Şubesi Müdürlüğü, Eylül, s.177-184

Diyatomit Agregaların Çimento Esaslı Hafif Harç Özelliklerinin Gelişimine Etkisi

Effect of Diatomite Aggregates on Improving the Cement Based Lightweight Mortar Properties

L. Gündüz, Ş.O. Kalkan

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Gözenekli doğal agregaların inşaat endüstrisinde hafif harç üretimlerinde kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bunlar arasında özellikle diyatomit kayacının, hafif harç agregası olarak değerlendirilmesi yeni bir inceleme konusu olarak görülebilmektedir. Ayrıca, inşaat endüstrisinde doğal ve gözenekli malzemelerden üretilmiş, çimento bazlı polimer bileşenli hafif harç uygulamaları da giderek önem kazanmaktadır. Bu ürünler, inşaat endüstrisinde ısısal performans ve yalıtım amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu bildiride, kalsine edilmemiş diyatomit agregasının ana malzeme bileşeni olarak kullanıldığı hafif harç örnekleri üzerine bir dizi deneysel çalışma ve teknik inceleme yapılmış olup, analiz sonuçları irdelenmiştir. Ayrıca, diyatomit agrega boyutu değişiminin hafif harç özelliklerine olan etkileri de sayısal olarak irdelenmiştir.

ABSTRACT The usage of porous natural aggregates show gradually rising trend for production of lightweight mortars in civil engineering industry. In majority, evaluation of diatomite rock as lightweight mortar aggregate can be specially seen as a new subject of study. However, application of lightweight cement based mortar produced from natural and porous materials with polymer component is also very important task in building industry. These products are used as the purpose of thermal performance and insulation in building industry. In this paper, a series of experimental test works were carried out on lightweight mortar samples with uncalcined diatomite aggregate used as the main material component and the research findings were evaluated. However, the effects of changing the diatomite aggregate size on lightweight mortar properties were also evaluated in numerical aspects.

1 GİRİŞ

İnsanlığın başlangıcından bugüne kadar en önemli ihtiyaçlarından biri barınma olmuştur. Barınma ihtiyacı insanlıkla birlikte gelişip değişmiş, buna uygun olarak yapı malzemeleri de değişim göstermiştir. Antik dönemlerden günümüze değin harç uygulamaları tarihsel süreç içerisinde detayda irdelendiğinde, harç elde edilmesinde en önemli unsurun bağlayıcı madde başta olmak üzere, ana materyal olarak kullanılan hammadde türünün de çok

önemli olduğu görülmektedir. Bağlayıcı madde ve ana materyal agrega türü veya elde edilebilirliğine göre, tarihsel derinlikte harçların kullanım yerleri ve uygulama performansları sürekli bir değişim trendi göstermiştir (Aruntaş 1996, DPT 2001, Erdoğan ve Erdoğan 2007).

Yeni nesil olarak da nitelendirilebilen polimer bileşen içerikli hafif harçlar, teknolojik özellikleri itibariyle geleneksel harçlardan farklılık göstermektedirler. Örneğin, birim hacim ağırlıkları normal

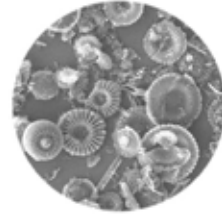
harçlara göre daha düşük olup, daha hafif harç kombinasyonlarını oluşturmaktadırlar. Yalıtım anlayışı çerçevesinde, ısısal konfor, ses yutuculuk kabiliyeti ve akustik konfor, suya karşı direnci, yangına ve yüksek sıcaklık ortamlarına karşı direnci, buhar difüzyon kabiliyeti ve özel bileşimli olarak geliştirilen türlerinin radyasyon ortamlarına karşı direnci vb gibi bir dizi teknik özellikler, geleneksel harçlardan oldukça farklılık oluşturan değerler gösterebilmektedirler. Hafif harçlar, özellikle son yıllarda küresel ısınmanın da doğal bir sonucu olarak binalarda enerji verimliliğine önemli katma değerler sağlayan birer yapı bileşeni şekline de dönüşüm gösterdiği görülebilmektedir.

Endüstriyel olarak, günümüzde hafif harç kombinasyonlarının oluşturulabilmesi için pomza, volkanik cüruf, tüf, tüfit, perlit gibi birbirinden farklı doğal malzemeler ana bileşen olarak kullanılmaktadır. Ancak, ülkemizde potansiyel varlığı yüksek değerlerde olduğu bilinen bir diğer doğal malzeme ise diyatomit oluşumlarıdır (Özbey ve Atamer 1987, Aruntaş vd. 1998). Diyatomit kayacı, henüz endüstriyel olarak bu tarz harç kombinasyonlarında kullanımı yaygın olarak görülmemekte ve konu üzerinde detay inceleme çalışmalarına da yeterince rastlanılmamaktadır. Ayrıca, literatürde diyatomit kayacı, yalıtım ürünlerinde kullanılabileceği üzerine yer yer vurguların yapıldığı da görülmektedir (Karagöz, 2013). Ülkemizdeki diyatomit oluşumlarına yeni bir endüstriyel kullanım boyutu açmak ve teknik olarak diyatomit kayacının doğal haliyle ısı ve/veya kimyasal prosesler gibi herhangi bir ön işlemten geçirmeden yalıtım özelliği taşıyabilecek polimer bileşenli hafif harç tekniklerinde ana ve/veya yardımcı hammadde olarak kullanımının etkinleştirilmesi, ülke ekonomisine kaçınılmaz yeni bir katma değer sağlayacaktır. Bu makalede, diyatomit kayacının farklı tane boyutlarıyla kurgulanmış çimento bazlı kombinasyonel karışım kombinasyonları ile standartların öngördüğü prensipleri sağlayabilen hafif harç teknik özelliklerinin deneysel bulgularla irdelenmesi ve yenilikçi

endüstriyel bir ürünün geliştirmesi amaçlanmıştır.

2 DİYATOMİT AGREGA

Diyatomit, su yosunları sınıflarından tek hücreli mikroskobik diatome alglerinin fosilleşmiş silisli kavkılarında meydana gelmiş bir çökeldir (Şek. 1). Çok çabuk çoğalan ve su kütlesi içinde belirlenemeyecek oranlarda bulunan bu canlılar, canlılıklarını kaybedince suyun dibine çöker ve yığılırlar. İyi şartlardaki diyatomeli bir su alanında, yılda birkaç milimetre kalınlıkta diyatomit çökeli oluşabilir. Doğada genellikle kayaç kütleleri formunda ve damar yapıları oluşum şekillerinde bulunmaktadırlar. Diyatomit kayacına literatürde, “*DE*”, “*diatomitsi toprak*”, “*diahydro*”, “*kieselguhr*”, “*kieselgur*” ve “*Celite*” gibi farklı isimlerle de rastlanılabilmektedir (Aruntaş 1996, Özbey ve Atamer 1987, Crangle 2009).



Şekil 1. Tek hücreli mikroskobik algler.

Doğada bulunabilen, beyaz, tebeşirimsi, çökel taşıdır (Şek. 2). Ezildiği zaman çok ince, beyaz-bej bir toza dönüşür. Bu tozun aşındırıcı bir etkisi vardır ve gözenekli yapısı sebebiyle çok hafiftir. Diatomit, silikadan ve diatom fosillerinden oluşmuştur. Diatom sert kabuklu bir alga türüdür (Crangle, 2009).



Şekil 2. Diyatomit kayacının genel görünümü.

Bir diyatomenin iskelet yapısı, kavkısı sulu amorf silika-opal ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) diyatomelerin 16000 çeşidi vardır. İnsal ve bilateral simetri gösteren tekerlek, disk, top, merdiven, kayık, tüy, çubuk ve iğne şekillerindeki taneler halinde görülen diyatomelerden oluşan diyatomit kayacının, ticari değere sahip olabilmesi için %85'ten fazla oranda silis içermesi gerekmektedir. %86-94'ünü silis, geri kalan kısmının ise alüminyum, demir ve muhtevadaki kilden gelen alkaliler tamamlar. Diyatomit kayacının genel olarak kimyasal içeriği ise şu şekilde tanımlanabilmektedir (Aruntaş 1996, DPT 2001): SiO_2 içeriği %89-94; Al_2O_3 içeriği %2-3; Fe_2O_3 içeriği Eser Miktarda; CaO içeriği %2.5-4; MgO içeriği %0.20-0.60; SO_3 içeriği %1-4.5 ve Kızdırma Kaybı %2-5 aralığındadır.

Diyatomit ağırlıklı olarak silisten oluştuğu halde kayaç sertlikleri (Mohs ölçeğinde) 1.5-2 civarında olup, tane sertliği ise 4-6.5 arasındadır. Kimyasal bileşimine de bağlı olarak kuru birim hacim ağırlığı 150-750 kg/m^3 arasında değişim göstermektedir. Diyatomit kayacının ham olarak pH değeri 5-9 arasında değişim gösterebilmektedir. Genellikle gevşektir, elde un gibi dağılır. Renk açık bej, beyaz ve gri arası değişir. Saf diyatomit beyaz renklidir. Organik materyalce zengin olan diyatomitler ise sarı, kahverengi, koyu yeşil ve siyah renkli olabilmektedirler (Brady and Clauser, 1991).

Diyatomit birçok kimyasal maddeye karşı inert olup, yalnız yüksek sıcaklıkta kuvvetli bazlardan ve asit olarak da sadece HF (Hidroflorik Asit)'den etkilenir (DPT, 2001).

3 DİYATOMİT AGREGALI HAFİF HARÇ TASARIMI VE TEST ÖRNEKLERİNİN HAZIRLANMASI

Diyatomit agregaların hafif harç özelliklerinin gelişimine etkisini irdelemek amacıyla başlıca iki farklı boyut diyatomit agregası değerlendirilmeye alınmıştır. Diyatomit kayacı doğal agregası malzeme olarak, 0-16 mm boyutlarında Ankara-Kazan Bölgesi diyatomit sahalarından temin edilmiş olup, bu çalışma sürecinde laboratuvar ortamında birincil bir kırıcıda

kırılıp daha sonra 0-1 mm ve 1-4 mm boyut aralıklarında eleme yapmak suretiyle sınıflandırılmıştır. 0-1 mm boyutunda hazırlanan diyatomit agregaları "*ince agregası*" olarak adlandırılmış olup, 1-4 mm boyutunda hazırlanan diyatomit agregaları ise "*iri agregası*" olarak adlandırılmıştır. Diyatomit agregası etkisinin incelenmesi amacıyla, başlangıç bir çalışma olarak diyatomit agregası içermeyen bir dizi harç örnekleri mikronize edilmiş kalsit malzeme ile hazırlanmış olup, bu örnekler kontrol karışımları olarak çalışmada değerlendirilmiştir. Kalsit agregası boyutlanmış malzeme olarak yerel üreticilerden tedarik edilerek kullanılmıştır. Bununla birlikte karışım kombinasyonlarında dolgu malzemesi olarak kullanılmak üzere 0-2 mm boyutlu zenginleştirilmiş pomza malzemeleri Nevşehir'den boyutlanmış malzeme olarak tedarik edilerek kullanılmıştır. Ayrıca karışımlarda kıvamlaştırıcı ve bağ yapıcı kuvvetlendirme amacıyla kullanılan toz polimer bileşenler ise BOYSAN Kimya A.Ş. (İstanbul)'den tedarik edilmiştir. Karışım örneklerinin tamamı Beyaz çimento ile hazırlanmıştır.

Diyatomit katkılı tüm hafif harç hazırlama işleminin gerçekleştirilmesinde İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Yapı Malzemeleri Laboratuvarının alt yapısından yararlanılmıştır.

Çalışma kapsamında öncelikle bileşiminde yalnızca mikronize kalsit içeren bir kontrol harç hamuru örneği oluşturulmuştur. Bu kontrol harç hamuru örneğinde, birim ağırlığı minimum seviyeye düşürebilmek amacıyla, karışım kombinasyonu içerisine ağırlıkça eşit oranlarda olmak koşuluyla %22 oranlarında 0-2 mm boyutlu zenginleştirilmiş pomza agregası ilave edilmiş olup, geleneksel agregalı kompozit malzeme örnekleri elde edilmiştir. Bu karışımlarda ağırlıkça %4 oranında da toz polimer katkı ve ağırlıkça %3.8 oranında da beyaz çimento sabit olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan tüm kombinasyonları Çizelge 1'de detay olarak verilmiştir.

Çizelge 1. Hafif harç karışım kombinasyonları.

Bileşen	Karışım oranları, (ağırlıkça %)											
	Kx	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	
0-1 mm Kalsit	40,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0-1 mm Diyatomit Agregası	-	39,2	38,7	38,2	37,2	35,2	33,2	31,2	29,2	27,2	25,2	
1-4 mm Diyatomit Agregası	-	1	1,5	2	3	5	7	9	11	13	15	
Dolgu Malzemesi	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
Beyaz Çimento	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
Sönmüş Toz Kireç	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Polimer Katkı	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	
Toplam	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Harç hamuru örneklerinin hazırlanmasında optimum su/katı oranını belirlemek amacıyla, akma tablası yöntemiyle kıvam analizi yapılmış olup, 0.60 Su/Katı oranının en uygun karışım kıvamını sağladığı belirlenmiştir. Daha sonra, Vicat iğne yöntemiyle bu harç örneğinin ilk priz ve son priz süreleri tespit edilerek ön kıvam-priz alma değerlendirilmesi yapılmıştır. Taze harç olarak karışımı yapılan kontrol harcı, TS EN 998-1 (TSE, 2006) standardının öngördüğü prensiplere göre 4x4x16 cm boyutundaki prizma kalıplara, 5x5x5 cm küp kalıplara ve ayrıca 5x40x20 cm boyutundaki plaka kalıplara dökülmüştür. Bu örnekler, 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak TS EN 998-1 standardının öngördüğü prensiplere göre kurlenmiş olup, 28 günlük kür sonrasında örneklerin birim hacim ağırlık, kılcal (kapiler) su emme, basınç dayanımı, ısı iletkenlik özelliği ve sismik hız değeri gibi teknik özellikleri deneysel olarak analiz edilmiştir. Bu şekilde elde edilen örnekler, bu çalışma kapsamında *referans örnekler* olarak ele alınmış ve **Kx** olarak kodlanmıştır.

Diyatomit agregalı hafif harç malzeme geliştirilmesi amacıyla karışım kombinasyonundaki diğer tüm parametrik bileşenler ve kullanım oranları sabit tutulmak koşuluyla, ince agrega ve iri agrega formundaki diyatomit agrega kullanım oranları 10 ayrı karışım oranında tanzim edilerek bir seri deney örnekleri hazırlanmıştır. Bu örneklerde, diyatomit

kullanım oranının elde edilen hafif harç örneklerinin teknik özelliklerine hangi ölçütlerde etki ettiği sayısal verilerle incelemesi ve irdelemesi yapılmıştır. Bu karışımlar **D1 – D10** olarak kodlanmıştır. Bu karışımlarda diğer referans karışımlarda olduğu üzere, ağırlıkça %4 oranında sönmüş toz kireç ve %22 oranlarında 0-2 mm boyutlu zenginleştirilmiş pomza agrega, ağırlıkça %4 oranında sönmüş toz kireç, ağırlıkça %3.8 oranında da toz polimer katkı ve ağırlıkça %30 oranında da beyaz çimento sabit olarak kullanılmıştır. Malzeme örneklerinin hazırlanmasında optimum su/katı oranını belirlemek amacıyla, akma tablası yöntemiyle kıvam analizi yapılmış olup, 0.90 Su/Katı oranının en uygun karışım kıvamını sağladığı belirlenmiş olup, 10 ayrı karışım kombinasyonunda su/katı oranı sabit değer olarak kullanılmıştır. Tüm harç hamuru örnekleri aynı boyutlardaki numune kalıplarına dökülmüştür. Örnekler 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak TS EN 998-1 standardının öngördüğü prensiplere göre kurlenmiş olup, 28 günlük kür sonrasında örneklerin birim hacim ağırlık, kılcal (kapiler) su emme, basınç dayanımı, ısı iletkenlik özelliği ve sismik hız değeri gibi teknik özellikleri deneysel olarak analiz edilmiştir. Tüm teknik bulgular, referans örneklerde elde edilen teknik veriler ile karşılaştırılarak diyatomit agregalı harç örnekleri için etkisi irdelenmiştir. Her bir karışım kombinasyonu için 4x4x16 cm boyutlarında 20 adet, 5x5x5 cm boyutlarında

20 adet ve 5x40x20 cm boyutlarında ise 3 adet numune hazırlanmıştır.

Bu çalışmada, hazırlanan tüm karışım kombinasyonlarında Adana Çimento Sanayi T.A.Ş. üretimi TS 21 BPC 42.5-70 Beyaz Çimento ürünü ana bağlayıcı eleman olarak kullanılmıştır. Ayrıca, kompozit matris yapıda harç örnekleri oluşturmak, karışımın tiksotropisini dengelemek ve polimerizasyon sürecini optimal duruma getirmek amacıyla kıvamlaştırıcı, hava sürükleyici, su itici, aderans artırıcı, renk pigmenti, dolgu kimyasalı ve rötre giderici toz polimer bileşenleri bir karışım olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışma programında kullanılan yöntem, standartlar ve yapılan analiz süreci ise Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneysel çalışma programında kullanılan yöntem, standartlar ve yapılan analiz süreci.

Analiz Adı	Kullanılan Deneysel Yöntem- Standartlar	Numune Sayısı Deneysel Süresi
Yaş harcın kıvam ve su ihtiyacı analizi	TS EN 1015-3 ve ASTM-C 230	8 adet numune 1 hafta
Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütleli Analizi	TS EN 1015-10	10 adet numune 4 hafta
Sertleşmiş Harcın Basınç Dayanımı Analizi	TS EN 1015-11	10 adet numune 4 hafta
Sertleşmiş Harcın Kılcal (Kapiler) Su Emme Analizi	TS EN 1015-18	10 adet numune 5 gün
Sertleşmiş Harcın Isı İletkenlik Analizi	ASTM-C 237 ve TS EN ISO 8990	3 adet numune 3 hafta
Ultrasonik Ses Analizi	ISRM	10 adet numune 3 hafta

4 ARAŞTIRMA BULGULARI

Referans numune amaçlı geleneksel kalsit agregalı olarak tanzim edilmiş kompozit malzeme örnekleri ile diyatomit agregalı hafif harç örnekleri, yukarıda tanımlanan karışım kombinasyon değerlerinde

hazırlanarak öncelikle toz formda malzeme bileşimleri elde edilmiş olup, her bir karışımında sabit su/katı oranında karma suyu ile karışımı yapılmış olan harç örneklerinin taze harç birim hacim ağırlık değerleri de belirlenmiştir. Toz ve taze harç formundaki tüm karışımların yoğunluk değerleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Karışımların yoğunluk değerleri.

Karışım	İnce/iri Agregata Oranı	Toz Formda Malzeme Yoğunluğu (kg/m ³)	Karışımın Su/Katı Oranı	Taze Harç Formda Malzeme Yoğunluğu (kg/m ³)
Kx	-	565	0,60	1052
D1	39,20	391	0,90	1002
D2	25,80	381	0,90	938
D3	19,10	348	0,90	839
D4	12,40	329	0,90	772
D5	7,04	323	0,90	741
D6	4,74	310	0,90	672
D7	3,47	320	0,90	740
D8	2,65	292	0,90	656
D9	2,09	285	0,90	631
D10	1,68	283	0,90	689

Çizelge 3 irdelendiğinde görüleceği gibi, kontrol örneğinin toz formdaki yığın yoğunluk değeri ortalama 562 kg/m³ olarak belirlenmiş olup, diyatomit agregalı karışım kombinasyonlarının tamamının toz yığın yoğunluk değerleri kontrol örneğine göre düşük değerlerdedir (kontrol örneğine göre %30.8-%49.9 oranında daha hafiftir). Hafif harç karışımlarında iri agregata olarak diyatomit oranı arttıkça toz yığın yoğunluk değerinin de %27.62 oranına kadar düştüğü görülebilmektedir.

Taze harcın oluşturulması için ne ölçekte karma suyuna ihtiyaç olduğunun tespiti gereklidir. Bunun için kıvam analizi ölçümü ASTM-C 230 (ASTM, 2014) ve TS EN 1015-3 (TSE, 2000a) standartlarına uygun akma tablası yöntemi (Şek. 3) kullanılarak belirlenir. Bu yöntemde, taze harç olarak hazırlanan karışımın uygun su oranı, ilk yayılma çapının ortalama 165±5 mm olması esas alınarak elde edilmiştir. Her bir karışım

kombinasyonu için yapılan akma tablası analizinde uygun olan Su/Katı oranları ve taze harç yoğunluk değerleri Çizelge 3’de verilmiştir. Çizelge 3 irdelendiğinde görüleceği gibi, en az karma suyu ihtiyacı gözeneklilik olgusunun daha düşük olması sebebiyle kontrol karışım örnekleri için elde edilmişken, diğer karışımların karma suyu oranı benzer değerler olarak ele alınmıştır.

Taze harç formunda hafif harç malzemelerinin yoğunluk değerleri irdelendiğinde görüleceği gibi, en hafif



Şekil 3. Taze harcın akma tablasındaki yayılma durumu.

karışım kombinasyonu yüksek oranda iri agrega boyutlu diyatomit kullanılmış karışımlarda elde edilmiştir. Isısal performansı yüksek harç malzemelerinin elde edilmesine imkân sağlayan düşük yoğunluk bağlamında, diyatomit agregalı karışımların kontrol örneğine göre ortalama %34.5 daha hafif yoğunlukta olduğu gözlenmiştir (Şek. 4). Hafif harç örneklerinin deneysel çalışmalarda elde edilen teknik bulguları Çizelge 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Taze harç formda yüksek oranda iri boyutlu diyatomit hafif harç.

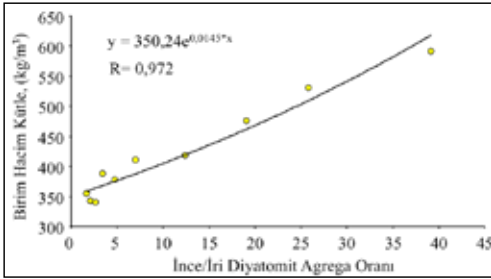
Çizelge 4. Hafif harç örneklerinin analiz bulguları

Karışım	Priz Sonrası Birim Hacim Kütle (kg/m ³)	Basınç Dayanım Değeri (N/mm ²)	Kapiler Su Emme Değeri (kg/m ² dak ^{0,5})	Isı İletkenlik Değeri (W/mK)	Sismik Hız Değeri (m/sn)
Kx	802	2,78	0,358	0,319	1772
D1	591	2,56	0,217	0,152	938
D2	530	2,49	0,234	0,133	815
D3	475	2,23	0,247	0,118	752
D4	418	1,98	0,259	0,107	681
D5	410	1,73	0,268	0,097	633
D6	378	1,64	0,281	0,086	609
D7	387	1,58	0,295	0,077	596
D8	341	1,44	0,326	0,068	577
D9	343	1,30	0,358	0,062	563
D10	355	1,04	0,377	0,057	509

Hafif harç malzemelerin birçok teknik özelliği, sertleşmiş harcın kuru birim hacim ağırlığının bir fonksiyonu olarak değişim göstermektedir. Birim ağırlık değerinin düşük olması, o malzemenin ısı yalıtım

özelliğini daha çok iyileştirmektedir. Genellikle kuru birim ağırlığı 400 kg/m³ ve daha düşük değerde olan harç malzemelerin ısı iletkenlik değerlerinin TS EN 998-1 standardında belirtilen T1 grubu “Yüksek Performanslı Isı Yalıtımı Sağlayan Harç”

grubunda yer alabildiği tecrübe edinilmiştir. Bu çalışmada hazırlanmış olan tüm örnekler, küp veya prizma şeklindeki kalıplara dökülerek 28 gün boyunca normal ortam koşullarında priz almaları sağlanmış ve priz sonrası boyutları ölçülerek birim ağırlıkları (yoğunlukları) belirlenmiştir (TSE, 2001). Bu açıdan irdelendiğinde, diyatomit ince/iri agrega boyut oranının 7'den daha düşük olduğu harç örneklerin priz sonrası kuru birim ağırlıkları 400 kg/m^3 değerinden daha düşük olduğu ve $410 - 355 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişim gösterdiği ölçülmüştür. Referans örnekler olarak analiz edilmiş örneklerde ise birim ağırlık değerinin ortalama 802 kg/m^3 olduğu tanımlanmıştır. Karışım kombinasyonlarında diyatomit ince/iri agrega oran değişimine bağlı olarak harç örneklerinin birim hacim kütle değerleri grafiksel olarak Şekil 5'de verilmiştir.



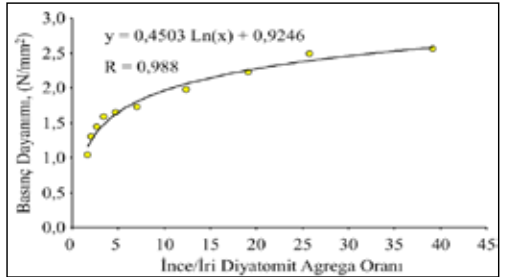
Şekil 5. Diyatomit ince/iri agrega oran değişimi - birim hacim kütle ilişkisi.

Hafif harç karışımlarının, inşaat sektöründe farklı alanlarda kullanımı için malzemelerin kabul edilebilir ölçütlerde basınç dayanım değerine sahip olmalıdır. Malzeme mukavemeti olarak da isimlendirilen bu değer, her bir malzeme türüne ve kullanım yerine göre farklılık gösterebilir. TS EN 998-1 standardında harç gruplarının 28 günlük basınç dayanım değerleri için, 4 ayrı dayanım sınıfı öngörülmüştür (CS I – CS IV). Bu sınıflarda dayanım sınırları şu şekilde verilmiştir:

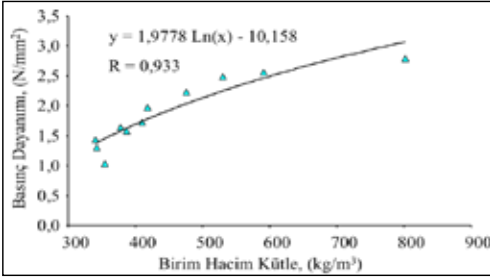
- CS I dayanım sınıfı için : $0.4-2.5 \text{ N/mm}^2$
- CS II dayanım sınıfı için : $1.5-5.0 \text{ N/mm}^2$
- CS III dayanım sınıfı için : $3.5-7.5 \text{ N/mm}^2$
- CS IV dayanım sınıfı için : $\geq 6 \text{ N/mm}^2$

Harç örneklerinin 28 günlük basınç dayanım değerleri TS EN 1015-11 (TSE, 2000b) standardına göre analiz edilmiş olup, bulgular Çizelge 4'de verilmiştir. Diyatomit ince/iri agrega oran değişimine bağlı olarak birim hacim kütle değerlerine bağlı olarak harç örneklerinin basınç dayanım değerleri grafiksel olarak Şekil 6 ve Şekil 7'de sırasıyla verilmiştir.

Harç örneklerinin basınç dayanım değerleri, ince ve iri agrega oranına göre önemli bir rol oynamaktadır. Genel olarak irdelendiğinde diyatomit iri agrega oranı düştükçe veya agrega gözeneklilik oranı arttıkça, harç örneklerinin basınç dayanım değerini de düşürdüğü gözlenmiştir. TS EN 998-1 standardında öngörülen sınır değerler açısından irdelendiğinde, diyatomit ince/iri agrega oranının 7'nin üzerinde veya diğer bir deyişle birim hacim kütle değerinin 410 kg/m^3 'ün üzerinde olan örneklerde, CS II sınıfı basınç dayanım değerinin sağlandığı tespit edilmiştir. Bu değer altındaki karışımlarda ise CS I sınıfı basınç dayanım özelliği elde edildiği belirlenmiştir. Karışımlarda diyatomit ince agrega oranının artışı, harcın mukavemet değerini artırıcı bir etken olduğu görülmüştür. Bununla birlikte kontrol örneklerinin ise CS II dayanım sınıfında olduğu görülmüştür.



Şekil 6. Diyatomit ince/iri agrega oran değişimi - basınç dayanım değeri ilişkisi.



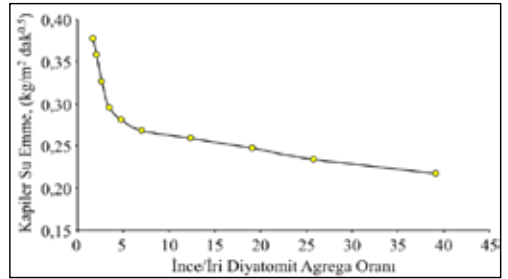
Şekil 7. Harç birim hacim kütle - basınç dayanım değeri ilişkisi.

Harç ürünleri, sektörel uygulamalarda yaygın olarak dış atmosfer ortam koşullarında kullanılabilir. Bu sebeple, malzemelerin su etkisine karşı dirençleri ve bünyelerinde kapiler olarak yükselen veya malzeme bünyesine emilen suya karşı gösterdikleri direnç önemlidir. Diğer bir deyişle, tüm malzeme türlerinde olduğu gibi harç malzemelerinin de mümkün olduğunca minimum seviyede su emmesi ve yüzeyine su etki ettiği zaman (örneğin yağmur etkisi, su püskürtülmesi, taban birimlerinde zemin suyu etkisi vb. gibi), yüzeysel suyu geçirmemesi temel prensiptir. Bu bağlamda, harç malzemelerin kapiler su geçirimsizlik değerlendirmesi de kaçınılmaz olmaktadır. Bu amaçla, TS EN 998-1 standardında harç türleri için öngörülen kapilerite değerlendirme kriterleri, analizlerde ana parametre olarak kullanılmıştır. TS EN 998-1 standardında harç gruplarının kılcal (kapiler) su emme (c) değerleri için, 3 ayrı sınıf öngörülmüştür (W0-W2). Bu sınıflarda kılcal su emme sınır değerleri şu şekilde verilmiştir:

- W0 Kılcal (Kapiler) Su Emme Sınıfı :
Belirlenmiş değer yoktur
- W1 Kılcal (Kapiler) Su Emme Sınıfı :
 $c \leq 0.40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{dak}^{0.5}$
- W2 Kılcal (Kapiler) Su Emme Sınıfı :
 $c \leq 0.20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{dak}^{0.5}$

Çalışma kapsamında hafif harç malzemeler olarak hazırlanan örneklerin kılcal (kapiler) su emme değerleri TS EN 1015-18 (TSE,

2004a) standardına göre analiz edilmiş olup, bulgular Çizelge 4'de verilmiş ve diyatomit ince/iri agrega oran değişimine bağlı olarak grafiksel incelemesi ise Şekil 8'de verilmiştir. Grafiksel analizden de görüldüğü üzere, harç karışımlarında diyatomit iri agrega oranı arttıkça, artan gözeneklilik oranının da bir fonksiyonu olarak kılcal (kapiler) su emme karakteristiği artış göstermektedir. Diğer bir deyişle, kapiler olarak daha geçirgen bir yapısal form kazanmaktadır. Elde edilen bulgular bağlamında, harç örneklerinin tamamının kılcal (kapiler) su emme karakteristiği standarda göre W1 sınıfında yer aldığı da tespit edilmiştir.



Şekil 8. Diyatomit ince/iri agrega oran değişimi - kılcal (kapiler) su emme değeri ilişkisi.

Isı, farklı sıcaklıklara sahip ortamlarda daima sıcaktan soğuğa doğru geçerek bir denge oluşturma eğilimindedir. Katı malzemeler, söz konusu ısı geçişine, ısı iletkenlik katsayılarına ve kalınlıklarına bağlı olarak bir direnç gösterirler. Bir başka ifadeyle, en genel anlamda ısısal konfor veya ısısal performans, ısı geçişini azaltan bir dirençtir. Bunu sağlayan malzemelere de ısı yalıtım malzemesi adı verilmektedir. Isı yalıtımı sağlayan malzemelerin en önemli özelliği “ısı iletkenlik katsayısı” olup, genellikle “□” sembolü ile gösterilmekte ve “kcal/mh°C” veya “W/mK” biriminde ifade edilmektedir. Bu değer, ne kadar küçük ise o malzemenin ısı yalıtımına ve enerji verimliliğine katkısı o derece yüksek olduğunun bir ifadesidir (TSE, 2004b).

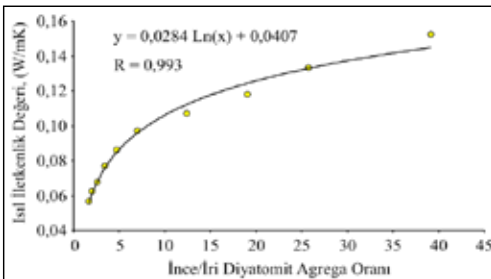
Farklı kombinasyonlarda hazırlanan harç örneklerinin ısı iletkenlik değeri, ASTM-C

237 ve TS EN ISO 8990 standardında öngörülen Mahfazalı Sıcak Kutu yöntemine göre ölçülmüştür. Elde edilen tüm karışım kombinasyonlarına ait ısı iletkenlik değerleri Çizelge 4’de verilmiş olup, diyatomit ince/iri agrega oran değişimine bağlı ve birim hacim kütle değerlerine bağlı olarak grafiksel incelemesi ise Şekil 9 ve Şekil 10’da verilmiştir.

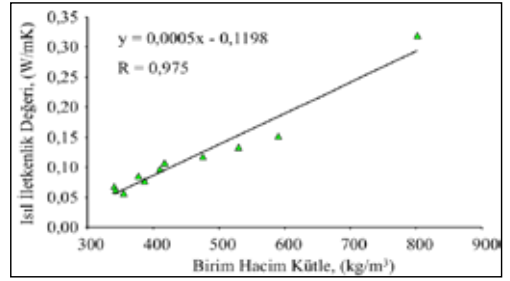
Isı iletkenlik analiz bulguları incelendiğinde görüldüğü gibi, en düşük ısı iletkenlik değeri diyatomit iri agrega kullanım oranı en yüksek olan malzeme örneklerinde tespit edilmiştir. Diyatomit agregalı harç malzemeler için elde edilen ısı iletkenlik değeri aralığı 0,057 – 0,152 W/mK arasında değişim göstermektedir. Kontrol örneğinin ise ısı iletkenlik değerleri 0,319 W/mK olarak belirlenmiş olup, diyatomit ince agrega oranı en yüksek karışıma göre 2.1 kat; diyatomit iri agrega oranı en yüksek karışıma göre de 5.6 kat daha yüksektir. Bu kısaca şu anlama gelmektedir. Uygulama kalınlığı aynı olmak koşuluyla diyatomit agregalı malzeme, kontrol karışımı örneklere göre çok daha yüksek verimlilikte ısı tasarrufu sağlayabilen malzemeler olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca, TS EN 998-1 standardına göre, ısı yalıtımı sağlayan harç grupları için 2 ayrı sınıf (T1 – T2) öngörülmüştür. Bu değerlendirme, harç türevlerinin ısı iletkenlik değeri ölçütü bağlamında yapılmış olup, sınır değerler şu şekilde öngörülmüştür:

T1 Sınıfı - Isıl İletkenlik Değeri : $\square \leq 0.10$ W/mK

T2 Sınıfı - Isıl İletkenlik Değeri : $\square \square \leq 0.20$ W/mK



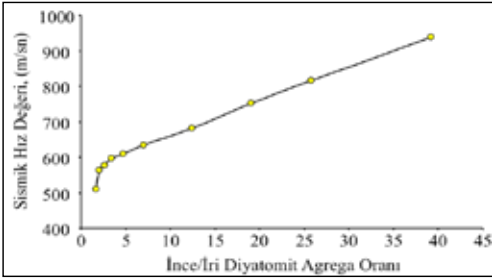
Şekil 9. Diyatomit ince/iri agrega oran değişimi – ısı iletkenlik değeri ilişkisi.



Şekil 10. Harç birim hacim kütle - ısı iletkenlik değeri ilişkisi.

TS EN 998-1 standardına göre bir malzemenin ısı iletkenlik değerinin ≤ 0.10 W/mK olması, yüksek performanslı ısı tasarrufu sağlayan (yüksek enerji verimli) malzeme olduğunu simgelemektedir. Bu değer ≤ 0.20 W/mK olması durumunda ise, malzemenin normal ölçütlerde ısı yalıtımı sağlayan bir malzeme grubunda yer alabildiğini simgelemektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada diyatomit agregalı tüm malzeme örneklerinin ısı iletkenlik değerleri TS EN 998-1 standardında öngörülen sınır değerler arasında kaldığı, kontrol örneğinin ise bu kategoriye dahil olamadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, diyatomit ince/iri agrega oranının 7’nin üzerinde veya diğer bir deyişle birim hacim kütle değerinin 410 kg/m^3 ’ün üzerinde olan örneklerde, T2 sınıfı “Isı tasarrufu sağlayan malzeme” kategorisinde yer aldığı görülmüştür. Bu değer altındaki karışımlarda ise örneklerinin T1 “Yüksek performanslı ısı tasarrufu sağlayan malzeme” kategorisinde yer aldığı belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, düşük ısı iletkenlik değeri sağlayabilmek için karışımlarda iri boyutlu ve daha yüksek gözeneklilik sağlayan malzeme kullanımı önem kazanmaktadır.

Çalışma kapsamında geliştirilen tüm test örneklerinin ayrıca ultrasonik ses (sismik hız) değerleri, piezoelektrik kristalli bir proba boyuna dalgaları iletim yöntemiyle ölçülmüştür (ISRM 1981, Popovics vd. 1990, Özeden 1981). Test örneklerinin ultrasonik ses ölçüm değerleri Çizelge 4’de verilmiş olup, diyatomit ince/iri agrega oran değişimine bağlı olarak grafiksel incelemesi ise Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Diyatomit ince/iri agregaya oran değişimi – sismik hız değeri ilişkisi.

Harç örneklerinin sismik hız değerleri, diyatomit ince ve iri agregaya oranına göre önemli bir rol oynamaktadır. Genel olarak irdelendiğinde diyatomit iri agregaya oranı düştükçe veya agregaya gözeneklilik oranı arttıkça, harç örneklerinin sismik hız değerini de düşürdüğü gözlenmiştir. Diyatomit agregalı harç malzemeler için elde edilen sismik hız değeri aralığı 509 – 938 m/sn arasında değişim göstermektedir. Kontrol örneğinin ise sismik hız değeri 1772 m/sn olarak belirlenmiş olup, diyatomit ince agregaya oranı en yüksek karışıma göre 1.89 kat; diyatomit iri agregaya oranı en yüksek karışıma göre de 3.48 kat daha yüksektir. Buradan da görüleceği üzere, diyatomit agregaya gözenekli yapısı ve gözenek oranının yüksek seviyelerde olması sebebiyle, ultrasonik ses geçişinde daha yalıtkan bir karakteristik sergilemektedir.

5 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Ankara İli Kazan Bölgesi çevresinde bulunan diyatomit kayalık oluşumlarının inşaat sektöründe değerlendirilmek üzere hafif harç üretiminde agregaya olarak kullanılabilirliği deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Çalışma kapsamında üretilen harçların birim hacim ağırlık bakımından kontrol numunelerinden oldukça hafif bir karakteristik gösterdiği gözlenmiştir. Birim hacim ağırlıktaki bu düşüş ısı iletkenlik ve sismik hız değerlerinde doğrudan etki oluşturmaktadır. Dolayısıyla, diyatomit agregalarla üretilen numuneler ısı ve ultrasonik ses geçişi

bakımından oldukça yalıtkan değerler sergilemektedir. Diyatomit agregalı örnekler üzerinde TS EN 998-1 standardının ön gördüğü deneyler sonucunda, numunelerin kılcal su emme değerleri W1, basınç dayanım değerler, CSI ve CSII, ısı iletkenlik değerleri T1 ve T2 sınıfı olarak tespit edilmiştir. Diyatomit agregalı numuneler üzerinde yapılan birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, sismik hız ve ısı iletkenlik gibi analizler sonucunda diyatomit agregaların inşaat sektöründe hafif harç üretiminde kullanılabilirliğinin uygun olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Aruntaş, H.Y., 1996. Diatomit, özellikleri, kullanım alanları ve inşaat sektöründeki yeri. *Çimento ve Beton Dünyası Dergisi*, s.27-32.
- Aruntaş, H.Y., Albayrak, M., Saka, H.A., Tokyay, M., 1998. Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı-Çerkeş Yöresi Diyatomitlerinin Özelliklerinin Araştırılması. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, s.337-343.
- ASTM 2014. ASTM C230/C230M-14 Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement, USA.
- Brady, G.S., Clauser, H. R., 1991. *Materials Handbook*, Mc Graw-Hill, ABD.
- Crangle R. D., Jr., 2009. Diatomite: U.S. Geological Survey Mineral Comodity Summaries 2009, 54-55.
- DPT 2001. 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı: Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Bentonit, Barit, Diyatomit, Aşındırıcılar. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT:2621 – ÖİK.632): Ankara.
- Erdoğan, S.T., Erdoğan, T.Y., 2007. Puzolanik Mineral Katkıları ve Tarihi Geçmişleri, 2. Yapılarda Kimyasal Katkıları Sempozyumu, s.263-275, Ankara.
- ISRM, 1981. Rock Characterisation Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods. Brown, E.T., (Editor), Pergamon Press, 211 p.
- Karagöz M., 2013, "Diyatomit Agreganın Kompozit Hazır Harç Üretiminde Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Özbey, G., Atamer, N., 1987. Kizelgur (Diyatomit) Hakkında Bazı Bilgiler, 10. Türkiye Madencilik Bilimsel Teknik Kongresi, s493-502, Ankara.
- Özeden N., 1981. Ses ötesi (ultrasonik) ile muayene, Segem Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü, Yayın No.48, Ankara.

- Popovics, S., Rose, J.L., and Popovics, J.S. 1990, The behavior of ultrasonic pulses in concrete, *Cement and Concrete Research*, v.20, p.259.
- TSE 2000a. TS EN 1015-3 Kâgir Harcı- Deney Metotları- Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayılma Tablası İle), Ankara.
- TSE 2000b. TS EN 1015-11 Kâgir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini, Ankara.
- TSE 2001. TS EN 1015-10 Kâgir Harcı-Deney Metotları- Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütesinin Tayini, Ankara.
- TSE 2002. TS EN ISO 8990 Isı Yalıtımı- Kararlı Durum Isı İletim Özelliklerinin Tayini- Kalibre Edilmiş ve Mahfazalı Sıcak Kutu, Ankara
- TSE 2004a. TS EN 1015-18 Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 18: Sertleşmiş harcın kapiler etkiler esnasında su emme katsayısının tayini, Ankara.
- TSE 2004b. TS EN 1745 Kâgir ve kâgir mamulleri - Tasarım ısı değerlerinin tayini metotları, Ankara.
- TSE 2006. TS EN 998-1 Şubat 2006 Kâgir harcı - Özellikler - Bölüm 1: Kaba ve ince sıva harcı, Ankara.

Zeolit ve Diyatomit İçeren Betonun Yarmada Çekme Dayanımının ANN ile Tahmini

Prediction of Splitting Tensile Strength of Concrete Containing Zeolite and Diatomite by ANN

E. Gülbandır

Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

Y. Koçak

Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Kütahya

ABSTRACT This study was designed to investigate with two different artificial neural network (ANN) prediction model for the behavior of concrete containing zeolite and diatomite. For purpose of constructing this model, 7 different mixes with 63 specimens of the 28, 56 and 90 days splitting tensile strength experimental results of concrete containing zeolite, diatomite, both zeolite and diatomite used in training and testing for ANN systems was gathered from the tests. The data used in the ANN models are arranged in a format of seven input parameters that cover the age of samples, Portland cement, zeolite, diatomite, aggregate, water and hyper plasticizer and an output parameter which is splitting tensile strength of concrete. In the model, the training and testing results have shown that two different ANN systems has strong potential as a feasible tool for predicting 28, 56 and 90 days the splitting tensile strength of concrete containing zeolite and diatomite.

1 INTRODUCTION

Concrete, which is one of the most widely used artificial construction materials, is an important role to play in building technology in the world. Concrete is a composite material that consists homogenous mixtures of cement, aggregate (fine and coarse aggregate), water, and sometime chemical admixture and mineral additives (Erdoğan, 2007, Neville, 1999). Cement and aggregate are two most important components of concrete.

The aggregate is a granular material, natural such as sand, gravel, crushed stone, or artificial such as iron-blast furnace slag (Laserna and Montero, 2016, Afshinnia and Rangaraju, 2016, Binici, et al., 2010). The aggregate constitutes typically 75% of the concrete volume, or more, and therefore its properties largely determine the properties of the concrete (Erdoğan, 2007). For the concrete to be of good quality, the aggregate

has to be strong and durable and free of silts, organic matter, and so on (Kuyumcu, 2006).

There are many different kinds of cements. In concrete, the most commonly used is Portland cement. Portland cement is made by heating a mixture of limestone and clay ultimately to a temperature of about 1450°C (Neville, 1999). Due to economic and ecological factors like trass (Kocak et al., 2010), zeolite (Kocak et al., 2013), diatomite (Kocak and Savas, 2016, Gerengi et al., 2013), metakaolin (Keleştemur and Demirel, 2015, Subası and Emiroglu, 2015), pumice (Yildiz et al., 2010), fly ash (Kocak and Nas, 2014, Zhengqi, 2016), blast furnace slag (Zhao et al., 2015), and silica fume (Okoye et al., 2016, Kocak, 2010) are intensely used in the cement and concrete technology. Some characteristics such as strength, durability and low permeability expected from good concrete are closely related not only to mix proportions but also to cement properties. Zeolite and diatomite

are natural mineral material, and are abundant in our country.

Zeolite is defined as allophones that consist of alkali and alkaline-earth cations and have the crystal structure. Zeolites have water molecules in their canals which is one of the most significant properties setting apart them from other mineral groups (Canpolat, 2002, Serbest, 1999). Diatomite is a mineral described as consisting of the fossilized siliceous shell of the microscopic single-celled alga and possessing the structural properties of amorphous silica. There are nearly fifteen thousand types of diatomite in the nature. Diatomites generally have the shape of a round tray or a long fish. They contain 70–90% of SiO_2 and are cellular materials with high water absorption rate (Aruntas and Tokyay, 1996).

Nowadays, expert systems, which are Adaptive Network-based Fuzzy Inference Systems (ANFIS), fuzzy system, and so on, have been used by many researchers to solve a wide variety of problems in civil engineering applications. Artificial neural network (ANN) one of them can be alternative approaches for the predicting such as mechanical behavior and physical properties of concrete and cement mortars (Beycioglu et al., 2015, Ashrafi et al., 2010, Atici, 2011, Yaprak et al., 2013, Subasi, 2009). The aim of this study is to build model in ANN system to evaluate the effect of splitting tensile strength of concrete containing zeolite and diatomite. In the study, 7 different cements, which are PC, 10–20% diatomite, 10–20% zeolite, 5+5–10+10% diatomite and zeolite are substituted for Portland cement, are used. For purpose of constructing this model, 7 different mixes with 63 specimens of the 28, 56 and 90 days splitting tensile strength experimental results of concrete containing zeolite, diatomite, both zeolite and diatomite used in training and testing for ANN system were gathered from the concrete tests. The model was trained with 63 data of experimental results.

The ANN model had seven input parameters that cover the age of samples, Portland cement, zeolite, diatomite, aggregate, water and hyper plasticizer and an output parameter which is splitting tensile strength of concrete. The obtained results from splitting tensile strength of concrete were compared with predicted results.

2 EXPERIMENTAL STUDY

2.1 Materials

2.1.1 Cement

The cement is CEM I 42.5 R (PC) which is provided from Bolu Cement Plant. The chemical properties of PC are given at the Table 1, and physical and mechanical properties of PC are given at the Table 2.

2.1.2 Pozzolan

Diatomite from Kutahya region and zeolite from Balikesir–Bigadic region are used as a pozzolan. Diatomite is supplied from ASU Chemistry and Mining Firm and zeolite from a Turkish Zeolite Firm. The chemical properties of zeolite and diatomite are given at the Table 1, and physical and mechanical properties of zeolite and diatomite are given at the Table 2.

2.1.3 Aggregate

In this study, Asar River aggregates in Duzce region as aggregate (crashed sand and crushed stone) are used. The physical properties of the aggregates are given at the Table 3.

2.1.4 Hyper plasticizer and mixing water

In this study, the type of fluid 70 produced by AYDOS Construction Chemicals Factory and new generation hyper plasticizer with solid matter content of 34.32%, intensity of 1.184 (20°C), pH value of 7.26 (20°C) are applied as admixture for concrete. Well water from Doganli village in Duzce as mixing water is used.

Table 1. The chemical properties of PC

Materials	PC	Diatomite	Zeolite
Chemical composition, wt.%			
SiO ₂	18.68	79.56	68.85
Al ₂ O ₃	4.67	6.54	11.71
Fe ₂ O ₃	3.53	2.76	1.29
CaO	64.56	2.45	3.97
MgO	0.98	0.79	1.06
SO ₃	3.00	0.48	0.18
Na ₂ O	0.14	2.63	0.29
K ₂ O	0.73	0.69	2.19
S+A+F	-	88.86	81.85
Loss on ignition	3.92	3.88	10.00
Insoluble residue	0.50	75.98	37.32
Free CaO	1.74	-	-

Table 2. The physical and mechanical properties of PC

Materials	Compressive strength, MPa		Setting time, minute		Blaine, cm ² /g	Specific gravity
	7 days	28 days	Initial	Final		
PC	29.6	52.8	118	-	4249	3.17
Diatomite	-	-	-	-	13640	2.28
Zeolite	-	-	-	-	5740	2.18

Table 3. The physical properties of the aggregates

Test		Result			Standards
Unit weight, g/cm ³	Loose Unit Weight	1.48			TS EN 1097-3
	Dense Unit Weight	1.66			
Specific gravity and Water absorption	Aggregate grading				
		0-5, mm	5-19, mm	19-30, mm	TS EN 1097-6
	Dry weight	2.63	2.62	2.66	
	Saturated and surface-dry weight	2.64	2.65	2.69	
Water absorption, %	0.61	1.16	1		
Moisture content, %		1.25	1.32	1.41	
Determination of organic impurities		The color of the liquid is light yellow color than colorless (Organic matter is harmless).			TS EN 1744-1

2.2 Methods

In the study, 7 different cements, which are PC, 10–20% diatomite, 10–20% zeolite, 5+5–10+10% diatomite and zeolite are substituted for Portland cement, are used. For concrete mixture design, materials' amounts to be put into the mixture are determined within the framework of the method stated in TS 802 standards (TSE, 2009). According to the type and rate of mineral additive, which is substituted for the concrete, seven types of

concrete are produced. They are encoded as R, 10D, 20D, 10Z, 20Z 5D5Z and 10D10Z according to the addition rate and the used mineral additive. According to TS EN 12350–2, consistency of concrete in fresh concrete is stated for each mixing group individually (TSE, TS EN 12350, 2010). The materials amount of the samples in concrete mixture of 1m³ and the characteristics of fresh concrete are given in the Table 4.

Table 4. Material quantity in the 1 m³ for each concrete group

Materials		Specific gravity	R, kg	10D, kg	20D, kg	10Z, kg	20Z, kg	5D5Z, kg	10D10Z, kg
Aggregate	0-5	2.66	822	831	822	843	855	849	855
	5-19	2.69	586	593	586	602	611	606	611
	19-30	2.70	428	433	428	439	446	442	445
Total			1836	1857	1836	1884	1912	1897	1911
PC		3.17	400	360	320	360	320	360	320
Diatomite		2.28	-	40	80	-	-	20	40
Zeolite		2.18	-	-	-	40	80	20	40
Hyper plasticizer		1.184	4.800	4.320	4.800	4.320	4.800	4.320	3.840
Water		1	139.7	139.7	123.3	139.7	123.2	139.7	124.2

The produced concretes are poured into 15x15x15 cm cubic molds without segregation. These concretes are retained for 24 hours in the molds and harden, then, they are cured in 23±2°C water for 28, 56 and 90 days. Splitting tensile strength experiments of concretes have been done according to TS EN 12390–6 (TSE, 2010).

3 ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Artificial neural network (ANN) consisted of an arbitrary number of simple elements called neurons. Neurons in ANN are, as similar in human brains, interconnected (Adhikary and Mutsuyoshi, 2006). ANN represents simplified methods of a human brain and uses new methods to solve

problems rather than conventional methods with traditional computations which have difficult solution procedures (Trtnik et al., 2009). Generally, ANN is consisted of an input layer of neurons, one or more hidden layers of neurons and output layer of neurons. The neighboring layers are fully interconnected by weight. The input layer neurons receive information from the outside environment and transmit them to the neurons of the hidden layer without performing any calculation. Layers between the input and output layers are called hidden layers and may contain a large number of hidden processing units. All problems, which can be solved by a perceptron can be solved with only one hidden layer, but it is

sometimes more efficient to use two hidden layers. Finally, the output layer neurons produce the network predictions to the outside world (Demir, 2008).

Figure 1 clearly illustrates the typical neural network which is composed of five main parts such as; inputs, weights, sum function, activation function and outputs (Topcu, et al., 2008, Parichatprecha and Nimityongskul, 2009).

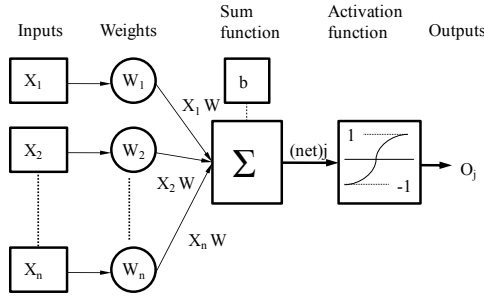


Figure 1. The artificial neuron model.

The input of a neuron comes from another neuron and it is obtained by multiplying the output of the connected neuron by the synaptic strength of the connection between them. The weighted sums of the input components $(net)_j$ are calculated by using Eq. (1) below:

$$(net)_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} o_i + b \tag{1}$$

where $(net)_j$ is the weighted sum of the j th neuron for the input received from the preceding layer with n neurons, w_{ij} is the weight between the j th neuron in the preceding layer, o_i is the output of the i th neuron in the preceding layer and b is a fix value as an internal addition (Topcu et al., 2008). Activation function is a function that processes the net input obtained from sum function and determines the neuron output. In general for multilayer feed forward models as the activation function ($f (net)_j$) sigmoid activation function is used. The output of the j th neuron $(out)_j$ is computed using Eq. (2) with a sigmoid activation function as follows: (Parichatprecha and Nimityongskul, 2009).

$$o_j = f(net)_j = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(net)_j}} \tag{2}$$

where α is constant used to control the slope of the semi-linear region. The sigmoid nonlinearity activates in every layer except in the input layer. The sigmoid function represented by Eq. (2) gives outputs in (0, 1). If it desired, the outputs of this function can be adjusted to (-1, 1) interval. As the sigmoid processor represents a continuous function it is particularly used in non-linear descriptions. Because its derivatives can be determined easily with regard to the parameters within $(net)_j$ variable (Parichatprecha and Nimityongskul, 2009).

4 ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODELS AND PARAMETERS

In training and testing of the ANN model the age of samples, PC, zeolite, diatomite, aggregate, water and hyper plasticizer were entered as input; while splitting tensile strength of concrete were used as output (Table 5).

For the training of the model were used 63 of the experimental data and 21 data as the average of these test results were used for

testing the trained model. The designed ANN-1 consisted of feed-forward back propagation, two hidden layers, training function (Levenberg-Marquardt), adaptation learning function (learnqdm), transfer function (tansig) and performance function

(MSE-mean squared error) as demonstrated in Figure 2-a. The designed ANN-2 consisted of same structure as demonstrated in Figure 2-b. The main difference, the input values of each layer is sum of multiplied by weights of the outputs of all previous layers

Table 5. The input and output quantities used in ANN model

		Data used in training and testing the model	
		Minimum	Maximum
Input variable	Age of samples, days	28	90
	PC, g	320	400
	Zeolite, g	0	80
	Diatomite, g	0	80
	Aggregate	1836	1912
	Water	123.2	139.7
	Hyper plasticizer	3.840	4.800
Output variable	Splitting tensile strength, MPa	5	10.4

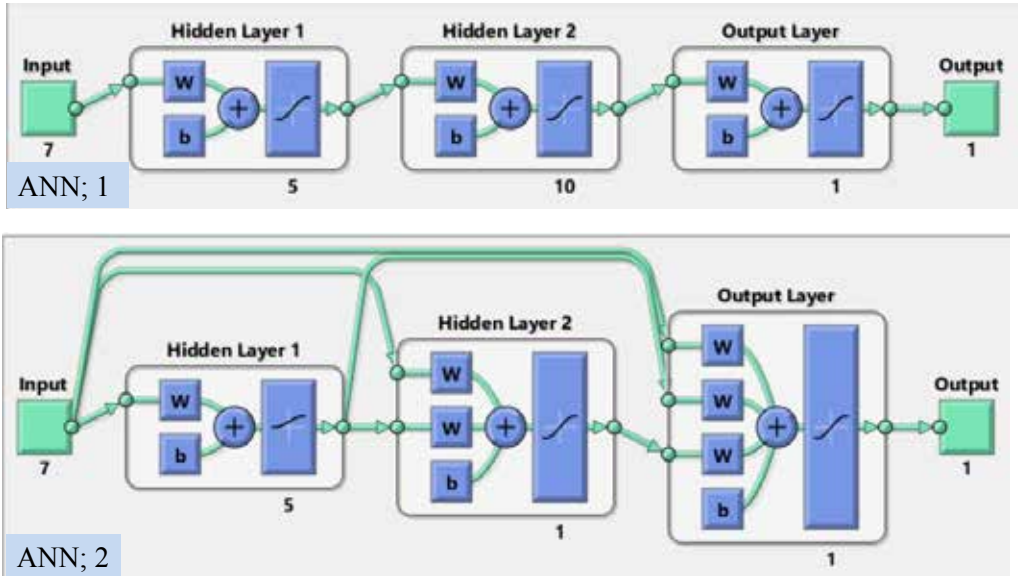


Figure 2. The architectures used in the ANN for splitting tensile strength.

Momentum rate and learning rate values were determined and the models were trained through iterations. The parameter values

obtained from the multilayer feed-forward neural network models were given in Table 6.

Table 6. The values of parameters used in models

Parameters	ANN-1	ANN-2
Number of input layer neurons	7	7
Number of hidden layer	2	2
Number of first hidden layer neurons	10	5
Number of second hidden layer neurons	5	1
Number of output layer neuron	1	1
Error after learning	1×10^{-4}	1×10^{-6}
Learning cycle	6	6

The trained models were tested only with the input values and the predicted results were close to the experimental results.

5 RESULTS AND DISCUSSION

Multilayer feedforward network models that contain two hidden layers are used in order to find more reliable solutions. Determination of optimum number of the hidden layers neurons are very important to accurately predict the parameters used by ANN. Starting with a few numbers of neurons and then slightly increasing the number of neurons gives the best approach for finding the optimum number of hidden neurons. The performance of the ANN model is monitored according to chosen performance criteria during this process for each hidden neuron number. This process is repeated until the error becomes acceptably small or no significant improvement is observed.

This study uses different neurons in the two hidden layers at the beginning of the process then the neuron number was increased step-by-step adding 1 neuron until no significant improvement is noted. The ANN models tried to be compared according to the absolute fraction of variance (R^2), mean absolute percentage error (MAPE) and a root-mean squared (RMS) error criteria.

These criteria are defined by Eqs. (3), (4) and (5) respectively (Ozcan et al., 2009).

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |t_i - o_i|^2} \tag{3}$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^N (o_i)^2} \right) \tag{4}$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{t_i - o_i}{o_i} \right| * 100 \tag{5}$$

Here t is the target value, o is the network output value, N is the total number of pattern. In the training and testing of ANN model from experimental data and average of these test results are used.

In the ANN models, 63 data of experiment results were used for training whereas 21 data as average of these test results for testing. Sample number and experimental results with training and testing results obtained from ANN models were given in Fig. 3 and 4, respectively. All results obtained from the studies and predicted by using the training and testing results of ANN model for 28, 56 and 90 days splitting tensile strength were given in Figure 5 and 6, respectively.

Also, inputs values and experimental results with testing results obtained from ANN models were given in Table 7.

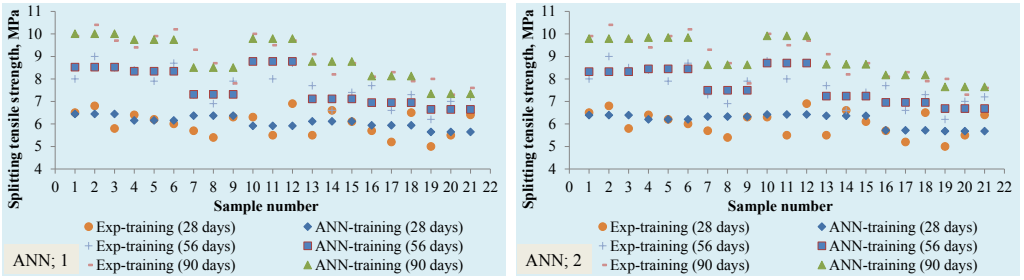


Figure 3. Comparison of splitting tensile strength experimental and training results with sample number.

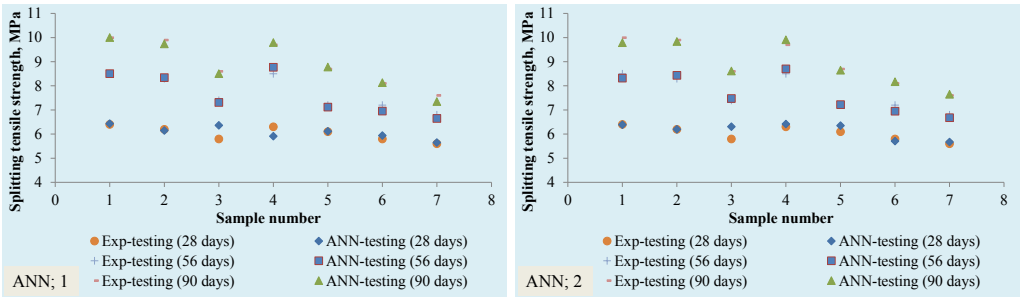


Figure 4. Comparison of splitting tensile strength average of test results and testing results with sample number.

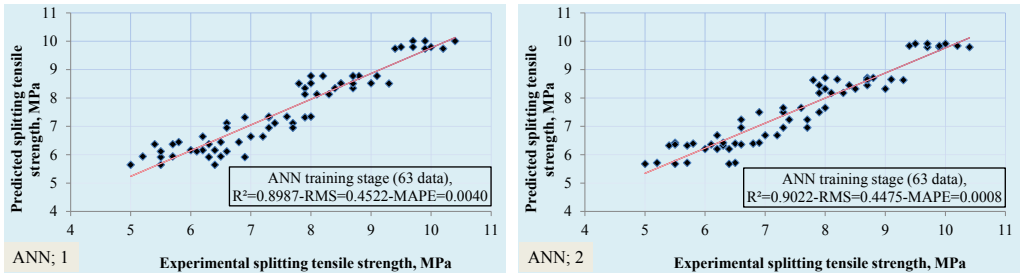


Figure 5. Comparison of splitting tensile strength experimental results with training results of model.

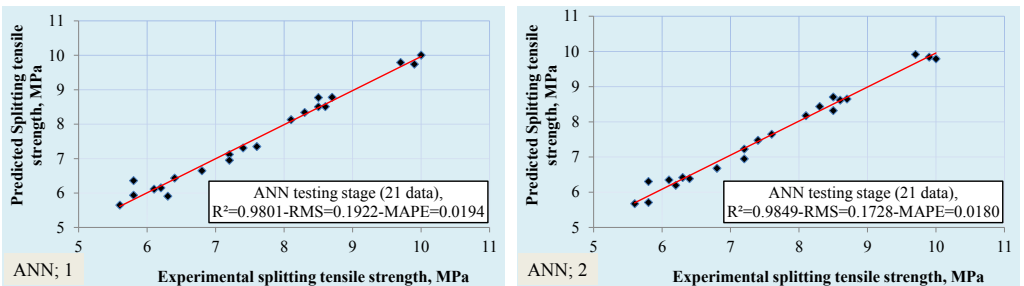


Figure 6. Comparison of splitting tensile strength average of experimental results with testing results of model.

Table 7. Comparison of splitting tensile strength average of test results with testing results obtained from ANN

Data used in the model construction							Splitting tensile strength, MPa		
As, days	PC, kg	Zeolite, kg	Diatomite, kg	Aggregate, kg	Water, kg	Hyper plasticizer, kg	Exp.	ANN, 1	ANN, 2
28	400	0	0	1836	139.7	4.80	6.4	6.4	6.4
28	360	0	40	1857	139.10	4.32	6.2	6.2	6.2
28	320	0	80	1836	123.3	4.80	5.8	6.4	6.3
28	360	40	0	1884	139.7	4.32	6.3	5.9	6.4
28	320	80	0	1912	123.2	4.80	6.1	6.1	6.4
28	360	20	20	1897	139.7	4.32	5.8	5.9	5.7
28	320	40	40	1911	124.2	3.84	5.6	5.6	5.7
56	400	0	0	1836	139.7	4.80	8.5	8.5	8.3
56	360	0	40	1857	139.10	4.32	8.3	8.3	8.4
56	320	0	80	1836	123.3	4.80	7.4	7.3	7.5
56	360	40	0	1884	139.7	4.32	8.5	8.8	8.7
56	320	80	0	1912	123.2	4.80	7.2	7.1	7.2
56	360	20	20	1897	139.7	4.32	7.2	7.0	7.0
56	320	40	40	1911	124.2	3.84	6.8	6.6	6.7
90	400	0	0	1836	139.7	4.80	10	10.0	9.8
90	360	0	40	1857	139.10	4.32	9.9	9.7	9.8
90	320	0	80	1836	123.3	4.80	8.6	8.5	8.6
90	360	40	0	1884	139.7	4.32	9.7	9.8	9.9
90	320	80	0	1912	123.2	4.80	8.7	8.8	8.6
90	360	20	20	1897	139.7	4.32	8.1	8.1	8.2
90	320	40	40	1911	124.2	3.84	7.6	7.4	7.6

The linear least square fit line, its equation and the R^2 values were shown in these figures for the training and testing data. As it is visible in Fig. 5 and 6 the values obtained from the training and testing in ANN model are very closer to the experimental results. The result of testing phase in Fig. 5 and 6

shows that the ANN models is capable of generalizing between input and output variables with reasonably good predictions.

The statistical values for all the station such as RMS, R^2 and MAPE were given in Table 8.

Table 8. The splitting tensile strength statistical values of proposed ANN models

Statistical parameters	ANN-1		ANN-2	
	Training set	Testing set	Training set	Testing set
RMS	0.4522	0.1922	0.4475	0.1728
R^2	0.8987	0.9801	0.9022	0.9849
MAPE	0.0040	0.0194	0.0008	0.0180

While the statistical values of RMS, R^2 and MAPE from training in the ANN-1 model were found as 0.4522, 0.8987 and 0.0040, respectively, these values were found in testing as 0.1922, 0.9801 and 0.0194,

respectively (Table 8). Similarly, for training of ANN-2 model were found as 0.4475, 0.9022 and 0.0008 and these values for testing were found 0.1728, 0.9849 and 0.018. All of the statistical values show that the

proposed ANN models is suitable and predict the 28, 56 and 90 days splitting tensile strength values very close to the experimental values.

6. CONCLUSION

In this study, ANN was used for the prediction the 28, 56 and 90 days splitting tensile strength values of concrete containing zeolite, diatomite, both zeolite and diatomite. In the model developed in ANN-1 system, a multilayered feed-forward neural network with a back-propagation algorithm was used. In the multilayer feed-forward neural network model, two hidden layers were selected. In the first hidden layer 10 neurons and in the second hidden layer 5 neurons were determined. This model was trained with input and output experimental data. Using only the input data in trained models the 28, 56 and 90 days splitting tensile strength values of concrete containing zeolite, diatomite, both zeolite and diatomite were found for testing the model. The splitting tensile strength values are very closer to the experimental data obtained from training and testing for ANN-1 model. ANN-2 model are prepared according to the designed model. The statistical parameter values of RMS, R2 and MAPE that calculated for comparing experimental data with two ANN models results have shown obviously this situation.

As a result, splitting tensile strength values of concrete containing zeolite, diatomite, both zeolite and diatomite can be predicted in the multilayer feed-forward neural network model in a quite short period of time with tiny error rates. The conclusions have shown that ANN systems are practicable methods for predicting splitting tensile strength values of concrete containing zeolite, diatomite, both zeolite and diatomite.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank Duzce University Presidency of Scientific Research

Projects that provided financial support with the project code number 2011.03.HD.009 and Duzce Yigitler Beton that enabled the tests to be carried out.

REFERENCES

- Adhikary, BB, Mutsuyoshi, H, 2006. Prediction of shear strength of steel fiber RC beams using neural networks, *Construction and Building Materials*, 20(9), s.801–811.
- Afshinnia, K, Rangaraju, PR, 2016. Impact of combined use of ground glass powder and crushed glass aggregate on selected properties of Portland cement concrete, *Construction and Building Materials*, s.117, 263-272.
- Aruntaş, HY, Tokyay, M, 1996. Katkılı Çimento Üretiminde Diatomitin Puzolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği, *Çimento ve Beton Dünyası*, 1(4), s.33-41.
- Ashrafi, HR, Jalal, M, Garmsiri, K, 2010. Prediction of load–displacement curve of concrete reinforced by composite fibers (steel and polymeric) using artificial neural network, *Expert Systems with Applications*, 37, s.7663-7668.
- Atıcı, U, 2011. Prediction of the strength of mineral admixture concrete using multivariable regression analysis and an artificial neural network, *Expert Systems with Applications*, 38, s.9609-9618.
- Beycioglu, A, Emiroglu, M, Kocak, Y, Subasi, S, 2015. Analyzing the compressive strength of clinker mortars using approximate reasoning approaches – ANN vs MLR, *Computers and Concrete*, 15(1), s.89-101.
- Binici, H, Sevinç, AH, Durgun, MY, 2010. Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Özellikleri, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), s.1-14.
- Canpolat, F, 2002. *Çimento performansının geliştirilmesinde doğal zeolitın endüstriyel atıklarla birlikte çimento üretiminde kullanılması*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Demir, F, 2008. Prediction of elastic modulus of normal and high strength concrete by artificial neural network, *Construction and Building Materials*, 22(7), s.1428–35.
- Erdoğan, TY, 2007. *Beton*, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim AŞ., ISBN / ISSN: 975–7064–67–x, Ankara, Türkiye.
- Gerengi, H, Kocak, Y, Jazdżewska, A, Kurtay, M, Durgun, H, 2013. Electrochemical investigations on the corrosion behaviour of reinforcing steel in diatomite– and zeolite–containing concrete

- exposed to sulphuric acid, *Construction and Building Materials*, 49, s.471-477.
- Keleştemur, O, Demirel, B, 2015. Effect of metakaolin on the corrosion resistance of structural lightweight concrete, *Construction and Building Materials*, 81, s.172-178.
- Kocak, Y, 2010. A Study on the Effect of Fly Ash and Silica Fume Substituted Cement Paste and Mortars, *Scientific Research and Essays*, 5(9), s.990-998.
- Koçak, Y, Dorum, A, Yılmaz, B, Uçar, A, 2010. Traşın Çimento Yüzey Özelliğine, Hidratasyona ve Basınç Dayanımına Etkisi. *E-Journal Of New World Sciences Academy Technological Applied Sciences*, 5(1), s.1-14.
- Kocak, Y, Nas, S, 2014. The effect of using fly ash on the strength and hydration characteristics of blended cements, *Construction and Building Materials*, 73, s.25-32.
- Kocak, Y, Savaş, Muhsin, 2016. Effect of the PC, diatomite and zeolite on the performance of concrete composites, *Computers and Concrete*, 17(6), s.815-829.
- Kocak, Y, Tascı, E, Kaya, U, 2013. The effect of using natural zeolite on the properties and hydration characteristics of blended cements, *Construction and Building Materials*, 47, s.720-727.
- Kuyumcu, HM, 2006. *Deniz suyu ve sülfatlı suların beton dayanımına etkisi*, Yüksek lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Laserna, S, Montero, J, 2016. Influence of natural aggregates typology on recycled concrete strength properties, *Construction and Building Materials*, 115, s.78-86.
- Neville, AM, 1999. *Properties of Concrete*, Fourth Edition, Pearson Education Limited, ISBN-13: 978-0-582-23070-5, England.
- Okoye, FN, Durgaprasad, J, Singh, NB, 2016. Effect of silica fume on the mechanical properties of fly ash based-geopolymer concrete, *Ceramics International*, 42, s.3000-3006.
- Ozcan, F, Atis, CD, Karahan, O, Uncuoglu, E, Tanyildizi, H, 2009. Comparison of artificial neural network and fuzzy logic models for prediction of long-term compressive strength of silica fume concrete. *Advances in Engineering Software*, 40, s.856-863.
- Parichatprecha, R, Nimityongskul, P, 2009. Analysis of durability of high performance concrete using artificial neural networks, *Construction and Building Materials*, 23, s.910-917.
- Serbest, D, 1999. *Doğal zeolitlerin hafif yapı endüstrisinde kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Subaşı, A, Emiroğlu, M, 2015. Effect of metakaolin substitution on physical, mechanical and hydration process of White Portland cement, *Construction and Building Materials*, 95, s.257-268.
- Subasi, S, 2009. Prediction of mechanical properties of cement containing class C fly ash by using artificial neural network and regression technique, *Scientific Research and Essay*, 4 (4), s.289-297.
- Topcu, İB, Karakurt, C, Saridemir, M, 2008. Predicting the strength development of cements produced with different pozzolans by neural network and fuzzy logic, *Materials and Design*, 29, s.1986-1991.
- Trtnik, G, Kavčič, F, Turk, G, 2009. Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks, *Ultrasonics*, 49, s.53-60.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2009. Beton karışımı hesap esasları, TS 802, Ankara, Türkiye.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, TS EN 12390-6, Ankara, Türkiye.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2010. Beton-Taze beton deneyleri- Bölüm 2: Çökme (slamp) deneyi, TS EN 12350-2, Ankara, Türkiye.
- Yaprak, H, Karaci, A, Demir, I, 2013. Prediction of the effect of varying cure conditions and w/c ratio on the compressive strength of concrete using artificial neural networks, *Neural Computing and Application*, 22, s.133-141.
- Yıldız, K, Dorum, A, Koçak, Y, 2010. Pomza Zeolit ve Cem I Çimentosunun Minerolojik Moleküler Elektrokinetik ve Termal Uyumunun Yüksek Dayanımlı Betona Etkisinin Araştırılması, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25(4), s.867-879.
- Zhao, H, Sun, W, Wu, Xiaoming, Gao, B, 2015. The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures, *Journal of Cleaner Production*, 95, s.66-74.
- Zhengqi, L, 2016. Drying shrinkage prediction of paste containing meta-kaolin and ultrafine fly ash for developing ultra-high performance concrete, *Materials Today Communications*, 6, s.74-80.

Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu İkamesinin Kompoze Çimento Harçlarına Mekanik Etkisi

Mechanical Effect of Composed Fly Ash and Blast Furnace Slag Replacement on Cement Mortars

İ. Demir,

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale

S. Güzelküçük,

Ahi Evran Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Kırşehir

H. Yaprak

Kastamonu Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Kastamonu

A. Filazi,

Kırıkkale Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Kırıkkale

ÖZET Mineral katkı malzemesi olarak beton üretiminde kullanılan birçok filler malzeme çeşidi vardır. Bunlar arasında uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun kullanımı oldukça fazladır. İnce taneli olan mineral katkı malzemeleri, kullanılan malzemelerin miktar ve özelliklerine bağlı olarak taze ve sertleşmiş betonun birçok özelliğini etkileyebilmektedir.

Bu çalışmada katkısız çimento harcı ile birlikte, CEM I 42.5 R çimentosuna, % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında Uçucu Kül + Yüksek Fırın Cürufu ikame edilerek çimento harcı hazırlanmıştır. Normal su küründe 7, 28, 90 gün bekletilen çimento harçlarının TS EN 196-1'e uygun olarak eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir.

Sonuç olarak; 90 gün sonunda en yüksek eğilme ve basınç dayanımını ise % 10 UK+YFC ikameli çimento harçları vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, Yüksek fırın cürufu, Basınç dayanımı, Eğilme dayanımı

ABSTRACT Various microfiller materials are used as mineral additives in concrete production. Fly ash and blast furnace slag is commonly used for this purpose. Fine grained mineral additives which can affect many aspects of the fresh and sclerous concrete depending on the amount and properties of material used.

In this study, replacement free cement mortar and CEM I 42.5 R cement mortar mixtures were prepared with replacements of fly ash and blast furnace slag in percentages of 5 %, 10 %, 15 % and 20 %. All samples were inside of normal water cure for 7, 28, 90 days, flexural and compressive strength were determined according to TS EN196–1.

Consequently, cement mortar with 10 % fly ash and blast furnace slag replacement has highest flexural and compressive strength as well.

Keywords: Fly ash, blast furnace slag, flexural strength, compressive strength

1 GİRİŞ

Mineral katkı malzemesi olarak beton üretiminde kullanılan birçok malzeme çeşidi vardır. İnce taneli olan mineral katkı malzemeleri, kullanılan malzemelerin miktar ve özelliklerine bağlı olarak taze ve sertleşmiş betonun birçok özelliğini etkileyebilmektedir (Erdoğan, 2003).

Puzolanların tek başlarına çok az bağlayıcılık özelliği vardır veya hiç bağlayıcılık özelliği yoktur. Ancak, inorganik madde olan puzolanlar nemli ortamlarda çok ince bir şekilde öğütüldüklerinde ve normal sıcaklıklarda kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ile kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanırlar ve bu malzemeler genellikle silis veya silis –

alümin kökenli malzemelerdir (Baradan, 2012).

Büyük miktarda SiO_2 ve Al_2O_3 içeren ve amorf yapıya sahip olan granüle yüksek fırın cürufu, öğütülerek çok ince taneli hale getirildiğinde, doğal puzolanların ve uçucu küllerin puzolanik özellikleri ile benzerlikler göstermektedir. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun yüksek miktarda CaO içermesi nedeni ile kendiliğinden de bir miktar bağlayıcılık özelliği bulunmaktadır (Erdoğan, 2003).

Granüle yüksek fırın cürufunun belli bir sınır değere kadar puzolanik özelliği $\text{CaO} / \text{SiO}_2$ oranının artışı ile doğru orantılıdır. Ancak CaO oranının çok yüksek olması ile birlikte puzolanik özellikte de azalma görülür. Sabit bir $\text{CaO} / \text{SiO}_2$ oranı için

Al_2O_3 miktarı artışı ise cürufun puzolanik aktivitesini arttırmaktadır. Cüruf içerisinde MgO oranının % 10'a kadar olması dayanıma olumsuz etki yapmamakla birlikte % 10'un üzerindeki MgO oranları ise zararlıdır (Peter, 1997).

Taze ve sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirmesini sağlamak için uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve taban külünün çimento ikame ve katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırması birçok araştırmacı tarafından çalışılmaktadır (Peter, 1997 – Topçu v.d., 1997 – Aruntaş v.d., 2006).

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu karışımı, hem kısa hem uzun dönemde beton özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür (Li v.d., 2003).

Bu çalışmanın amacı; Normal su küründe 7, 28, 90 gün bekletilen çimento harçlarının TS EN 196-1'e uygun olarak eğilme ve basınç dayanımları belirlemektir.

2 MATERYAL METOT

2.1 Materyal

2.1.1 Çimento

Yapılan çalışmada TS 197-1'e uygun CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir (TS EN 1997-1, 2002).

Çizelge 1. CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal bileşim	CEM I 42,5 R
CaO (%)	66,04
SiO ₂ (%)	13,01
Al ₂ O ₃ (%)	3,47
P ₂ O ₅ (%)	7,6
MgO (%)	1,23
Na ₂ O (%)	0,27
K ₂ O (%)	0,93
SO ₃ (%)	4,6
Özgül ağırlık	3,18
Özgül yüzey (Blaine) (cm ² /g)	3352
Kızdırma Kaybı (%)	1,98

2.1.2 CEN Referans Kum

Çalışmada kullanılan kum, TS 196-1 standardında belirtilen CEN referans kumudur (TS EN 196-1, 2002).

2.1.3 Yüksek Fırın Cürufu

Ereğli Demir Çelik Fabrikasından elde edilen yüksek fırın cürufu bol miktarda su ile hızlı bir şekilde soğutulmuş olup, Blaine inceliği 3750 cm²/g dir. Kullanılan yüksek fırın cürufunun kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de gösterilmiştir.

2.1.3 Uçucu Kül

Çalışmada Çatalağzı termik santralinden elde edilen Blaine inceliği 2200 cm²/g olan uçucu kül kullanılmıştır. Kullanılan uçucu

külün kimyasal analizi Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Yüksek fırın cürufu (YFC) ve uçucu külün (UK)kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşim	Y F C	U K
SiO ₂ (%)	37,17	45,170
Al ₂ O ₃ (%)	9,670	11,161
Fe ₂ O ₃ (%)	0,990	7,403
CaO (%)	39,63	14,050
MgO (%)	5,400	4,696
Na ₂ O (%)	0,280	2,074
P ₂ O ₅ (%)	3,640	8,286
K ₂ O (%)	1,190	4,163
SO ₃ (%)	1,890	2,616

2.1.3 Su

Çalışmada kür suyu olarak içme suyu kullanılmıştır.

2.2 Metot

2.2.1 Malzeme Miktarları

Eğilme ve basınç deneyleri için ASTM C 1012 ve TS EN 196-1 standardına uygun olarak numuneler hazırlanmıştır. Harç üretiminde kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3’de verilmiştir (ASTM C1012, 2007).

Çizelge 3. Harç üretiminde kullanılan malzeme miktarları

UK+YFC İkame oranı (%)	Çimento (g)	Uçucu Kül (g)	Yüksek Fırın Curufu (g)	Su (g)	CEN Standart Kum (g)
5	427.50	11.25	11.25	225	1350±5
10	405.00	22.50	22.50	225	1350±5
15	382.50	33.75	33.75	225	1350±5
20	360.00	45.00	45.00	225	1350±5

2.2.2 Eğilme ve Basınç Dayanım Deneyleri

Basınç dayanımı deneyi TS EN 196-1’de belirtilen standartlarda yapılmıştır. 40×40×160 cm boyutundaki numunelerin su küründe 7, 28, 90 günlük dayanımları belirlenmiştir. TS EN 196 – 1, 2002)

3 ARAŞTIRMA BULGULARI

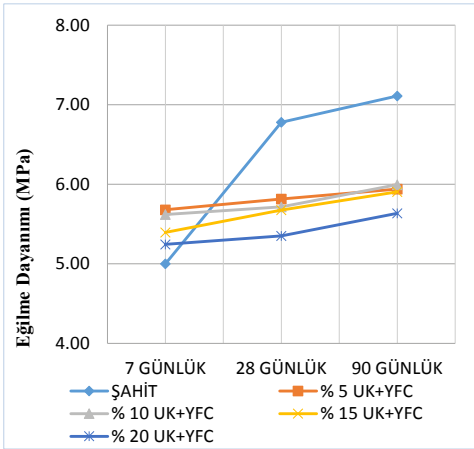
3.1 Eğilme ve Basınç Dayanımları

3.1.1 Eğilme Dayanımları

Yapılan çalışmalarda üretilen, katkısız ve % 5, % 10, % 15, % 20 oranlarda kompoze ikameli numuneler su küründe bekletilerek gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4 ve Şekil 1’de verilmiştir.

Çizelge 4. Eğilme dayanımları

Kompoze Durumu	7. GÜN (MPa)	28. GÜN (MPa)	90. GÜN (MPa)
ŞAHİT	5.00	6.78	7.11
% 5 UK+YFC	5.68	5.82	5.94
% 10 UK+YFC	5.62	5.72	6.00
% 15 UK+YFC	5.40	5.68	5.91
% 20 UK+YFC	5.25	5.35	5.64



Şekil 1. Eğilme dayanımları

Çizelge 4 ve Şekil 1'e göre su küründe olgunlaştırılan numunelerin 7 günlük eğilme dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız numunein eğilme dayanım değerinin 5 MPa olduğu, % 5 UK+YFC ikameli çimento harçlarının 5.68 MPa ile en yüksek değer aldığı, ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanımlarının azaldığı gözlenmiştir. 28 ve 90 günlük eğilme dayanımlarında ise katkısız numunelerin eğilme dayanım değerlerinin sırasıyla 6.78 MPa ve 7.11 MPa ile en yüksek değerleri aldığı, ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanım değerlerinin düştüğü görülmüştür.

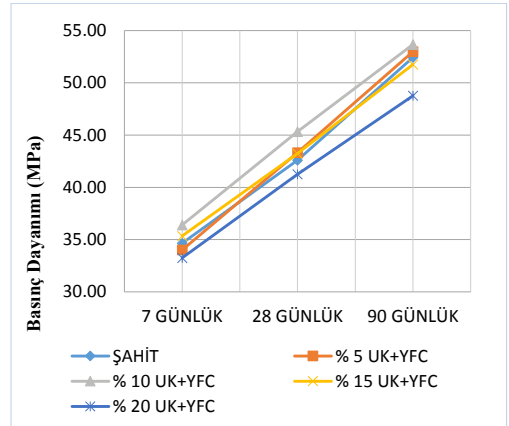
3.1.1 Basınç Dayanımları

Yapılan çalışmalarda üretilen, katkısız ve % 5, % 10, % 15, % 20 oranlarda kompoze ikameli numuneler su küründe bekletilerek gerçekleştirilen deneysel çalışmalar

sonucunda elde edilen basınç dayanımı değerleri Çizelge 5 ve Şekil 2'de verilmiştir

Çizelge 5. Basınç dayanımları

Kompoze Durumu	7. GÜN (MPa)	28. GÜN (MPa)	90. GÜN (MPa)
ŞAHİT	34.65	42.60	52.43
% 5 UK+YFC	34.00	43.33	52.98
% 10 UK+YFC	36.40	45.33	53.67
% 15 UK+YFC	35.34	43.24	51.76
% 20 UK+YFC	33.25	41.24	48.76



Şekil 2. Basınç dayanımları

Çizelge 5 ve Şekil 2.' ye göre 7, 28, 90 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının basınç dayanımları sırası ile 34.65 MPa, 42.6 MPa, 52.43 Mpa iken %10 UK+YFC ikameli çimento harçlarının basınç dayanımlarının sırası ile 36.40 MPa, 45.33 MPa, 53.67 MPa ile en yüksek değerleri aldığı buna bağlı olarak da % 10 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça basınç dayanımının düştüğü görülmüştür.

3.2 Priz Başlangıcı, Priz Sonu, Hacim Genleşmesi

Çizelge 6 da görüldüğü üzere, ikame oranı arttıkça katılma sürelerinde artış gözlenmiş fakat hacim genleşmelerinde önemli bir değişiklik olmamıştır.

En düşük priz başlangıç süresi % 5 ikameli çimento harçlarında en düşük priz sonu ise katkısız çimento harçlarında meydana gelmiştir. Ayrıca, En yüksek priz başlangıcı ve sonu % 20 ikameli çimento harçlarında meydana gelmiştir.

Çizelge 6. Priz başlangıcı, priz sonu, hacim genleşmesi

Seriler	Priz Başlangıcı (Dk)	Priz Sonu (Dk)	Katılma Süresi (Dk)	Hacim Gen. (mm)
CEM I 42,5	190	255	65	1,3
% 5 UK+YFC	190	265	75	1
% 10 UK+YFC	200	295	95	1
% 15 UK+YFC	210	315	105	1
% 20 UK+YFC	215	325	110	1

SONUÇLAR

- Basınç dayanımlarında % 10 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça basınç dayanım değerlerinin düştüğü görülmüştür.
- Basınç dayanımlarında % 10 ikame oranının 90 gün sonunda yaklaşık % 2 lik bir artış gözlenmiştir.

• Eğilme dayanımlarında ikame oranındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanım değerlerinin düştüğü görülmüştür.

• İkame oranı arttıkça katılma sürelerinde artış gözlenmiş fakat hacim genleşmelerinde önemli bir değişiklik olmamıştır.

Sonuç olarak % 10 oranında uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kompoze ikamesinin basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği, ikame oranı arttıkça katılma sürelerinin arttığı görülmüştür. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda ikame oranı ve kür süreleri artırılabilir.

KAYNAKLAR

- Aruntaş Y., Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 21, Sayı 1, 2006
- ASTM C1012 / C1012M - 07 Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution, *Annual book of ASTM standards*, Philadelphia, USA, (2007)
- Baradan B, Beton, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları* No: 334, 2012
- Erdoğan T., Beton, Metu Press, 2003
- Li G., Zhao X., Properties of concrete incorporating fly ash and ground granulated blast-furnace slag, *Cement & Concrete Composites*, 25 (2003) 293–299, 2003
- Peter C.H. (Editör), *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, 4.th edition, 1997.

- Topçu B.,Toprak U., Alkalilerle Aktive Edilen Taban Küllü Hafif Harç Üretimi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* Cilt 22 Sayı 2, 2009
- TS EN 197-1, Genel Çimentolar- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterler, *TSE*, 2002
- TS EN 196-1, Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım, *TSE*, (2002)
- TS EN 196-3, Çimento Deney Metotları- Bölüm 3: Priz Süresi ve Hacim Genleşmesi Tayini, *TSE*, (2002).

Zeolit İkameli Betonların H_2SO_4 Etkisine Karşı Performansı

Performance Against the Effects of H_2SO_4 of Concretes Substituted Zeolite

Y. Koçak

Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Kütahya, Türkiye.

M. Savaş

Özsoy Mimarlık, Düzce, Türkiye.

ÖZET Betonun kalitesi, agregaların kalitesi ile doğru orantılı olarak ilişkilendirilir. Dolayısıyla özellikleri iyi bir agrega, iyi bir beton için vazgeçilmez bir unsurdur. Bu çalışmada, referans (R), %10 (10Z) ve %20 (20Z) oranlarında zeolit ikameli çimento ile 3 farklı beton örneği kullanılmıştır. Sertleşmiş beton örnekleri üzerinde; birim ağırlık, su emme, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapilarite, yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler, üç farklı beton türü üzerinde, 28 gün yaşına kadar 23 ± 2 °C suda, daha sonra H_2SO_4 ve beton yaşı faktörünün iki düzeyinde (56 ve 90 gün) kür edilen beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda zeolit ikamesinin, üretilen beton örnekleri üzerinde dayanım açısından olumlu etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde zeolit ikameli beton örnekleri için en uygun ikame oranının %10 olduğu belirlenmiştir. Bu oran ile üretilen beton örneklerinde özellikle 90 gün yaşındaki betonun performansının, referans beton örneklerine göre daha iyi olduğu görülmüştür.

ABSTRACT The quality of concrete is directly related to the quality of the aggregates. Thus, an aggregate having good properties are indispensable for a good concrete. In this study, 3 different concrete samples which are reference (R), 10% (10Z) and 20% (20Z) zeolite substituted, have been used. On samples of produced the hardened concrete unit weight, water absorption, porosity, ultrasonic velocity, capillary water absorption, splitting tensile strength and compressive strength experiments have been done. The tests have been done on three different types of concrete, for 28 days, in 23 ± 2 °C water, then on the concrete samples which are cured H_2SO_4 of the media factor and in the level 2 (56 and 90 days) of concrete age factor. As a result of experiments it has been identified that the zeolite substitution produced a positive effect on the concrete samples in terms of the strength. When the results are evaluated, the appropriate rate of substitution was determined to be 10% for the concrete examples which contain zeolite. With this rate it has emerged, that the performance of concretes of especially 90 days year-old, are better than the reference concrete samples.

1 GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle özellikleri iyileştirilen ve dayanımı artırılan

beton; ekonomikliği, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı gibi birçok avantajı nedeniyle en çok tercih edilen yapı

malzemeleri arasında yer almaktadır (Kuyumcu, 2006). Beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin ilevesi ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup şekil verilebilen, zamanla katılaşp sertleşerek dayanım kazanan kompozit bir yapı malzemesi olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan, 2007).

Betonun en önemli bileşenlerinden biri olan agrega, beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır (Erdoğan, 2007). Agregalar, beton üretiminde çimento ve suyla birlikte kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi taneli malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Beton yapımında kum, çakıl, kırma taş, gibi doğal agrega tipleri, ya da yüksek fırın cürufu, genişleştirilmiş kil, genişleştirilmiş perlit ve uçucu külden elde edilen yapay agrega tipleri kullanılmaktadır (Laserna ve Montero 2016; Afshinnia ve Rangaraju, 2016; Binici vd., 2010). Betonda agrega kullanılmasıyla sertleşmiş olan betonun; hacim değişikliğinin önlenmesi veya azaltılması, aşınmaya karşı dayanımının artırılması, çevre etkilerine karşı dayanıklılığının artırılması, dayanım gücünün yükseltilmesi ve betonun taşımakta olduğu yüklere karşı dayanımı gibi avantajlar sağlanabilir (Kuyumcu, 2006). Betonun kalitesi ile agreganın kalitesi doğru orantılı olarak ilişkilendirilmekte, dolayısıyla iyi özelliklere sahip bir agrega, iyi bir beton için vazgeçilmez bir unsur olarak yerini almaktadır.

Betonun bir diğer önemli bileşeni ise çimentodur. Taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla çimento ve betona uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi yapay (Kocak ve Nas, 2014; Li, 2016; Kocak, 2010; Okoye vd., 2016; Dorum vd., 2009; Zhao vd., 2015), ya da tras, metakaolin, pomza, zeolit ve diatomit gibi doğal mineral malzemeler (Koçak vd., 2010; Subaşı ve Emiroğlu, 2015; Keleştemur ve Demirel, 2015; Yıldız vd., 2010; Gerengi

vd., 2013; Kocak ve Savaş, 2016; Kocak vd., 2013) katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin en önemlilerinden biri de zeolittir.

Zeolitler, kristal yapıları ve kimyasal özellikleri nedeni ile günümüz endüstrisinin önemli hammaddelerinden biridir. Zeolit, kristal yapıya sahip sulu alüminyum silikatlar olarak tanımlanmakta olup, alkali ve toprak alkali kanyonları içermektedir. Diğer mineral grupları ve zolitleri birbirinden ayıran en önemli özelliklerinden biri, yapı içerisindeki kanallarında su moleküllerinin bulunması olarak ifade edilmektedir. Zeolitin önemli özelliklerinden bir diğeri de yapısında bulunan halka şeklindeki oksijen pencereleri olarak ifade edilen kanallardır. Bu kanallar su molekülleri sarılı halde Na⁺, K⁺, Ca⁺ gibi tek ve iki değerlikli kanyonlarla doludur (Canpolat, 2002; Serbest, 1999).

Zeolitin fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle çimento ve beton sektöründe kullanımının önemli olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma, H₂SO₄ ortamındaki zeolit ikameli beton numunelerinin performansını, referans beton numuneleri ile kıyaslamak amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla çimento ile ağırlıkça %0 (referans), %10 ve %20 oranlarında zeolit ikame edilerek 3 tip çimento elde edilmiş, bu çimentolarla da 3 grup beton üretilmiş ve bu beton numunelerinin özellikleri; birim ağırlık, su emme, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme, yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı gibi deneylerle incelenmiştir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

2.1.1 Çimento ve mineral katkı

Deneyler için numunelerin hazırlanmasında bağlayıcı olarak Bolu Çimento Fabrikası tarafından üretilen Portland çimento (CEM I

42,5 R) kullanılmıştır. Mineral katkı olarak Türk Zeolit firmasından sağlanan zeolit kullanılmıştır. Portland çimento (PÇ) ve

zeolitin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. PÇ ve zeolitin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Malzeme	PÇ	Zeolit		PÇ	Zeolit
Kimyasal bileşenler, %			Fiziksel özellikler		
SiO ₂ (S)	18,68	68,85	Blaine inceliği, cm ² /g	4249	5740
Al ₂ O ₃ (A)	4,67	11,71	Özgül ağırlık, g/cm ³	3,17	2,18
Fe ₂ O ₃ (F)	3,53	1,29	90 µm elek bakiye, %	4,08	17,60
CaO	64,56	3,97	45 µm elek bakiye, %	-	35,80
MgO	0,98	1,06	Priz süresi, dakika		
SO ₃	3,00	0,18	Başlangıç	118	-
Na ₂ O	0,14	0,29	Bitiş	-	-
K ₂ O	0,73	2,19	Basınç dayanımı, MPa		
Kızdırma kaybı	3,92	10,00	2 gün	-	-
Serbest kireç	1,74	-	7 gün	29,6	-
Çözünmeyen kalıntı	0,50	75,98	28 gün	52,8	-

2.1.2 Agrega

Çalışmada Düzce bölgesi Asar deresine ait 0-5 mm kırma kum, 5-19 ve 19-30 mm boyut aralıklarında kırma taş agrega kullanılmıştır.

Agregaların tamamı Yiğitler beton firması tarafından temin edilmiştir. Kullanılan agreganın fiziksel özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

Deney Türü		Deney Raporu			İlgili Standart
Birim Ağırlık, g/cm ³	Gevşek	1,48			TS 3529
	Sıkışık	1,66			
Özgül ağırlık ve su emme oranı	Agrega Sınıfı				
		0-5 mm	5-19 mm	19-30 mm	TS EN1097-6
	Kuru özgül ağırlık	2,63	2,62	2,66	
	Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık	2,64	2,65	2,69	
Su Emme oranı, %	0,61	1,16	1		
Doğal nem, %		1,25	1,32	1,41	
Organik kökenli madde tayini		Renksizden açık sarıya doğru, organik madde zararsız.			TS EN 1744-1

2.1.3 Karışım suyu ve kimyasal katkı malzemesi

Beton numunelerin hazırlanmasında kullanılan su, Düzce yöresi Doğanlı bölgesindeki bir kuyudan temin edilen sudur. Karışımında akışkanlaştırıcı katkı malzemesi olarak AYDOS yapı kimyasalları firmasına ait fluid 70 türü hiper akışkanlaştırıcı (HA) kullanılmıştır. Bu malzeme, katı madde

içeriği 34,32, yoğunluğu (20 °C) 1,184, pH değeri (20 °C) 7,26 olan yeni nesil bir hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemesidir.

2.2 Yöntem

Çalışmada PÇ referans olmak üzere, %10 ve %20 oranlarında zeolit, Portland çimentosu yerine ikame edilerek toplam 3 farklı çimento kullanılmıştır. Bu üç grup çimento

ile 3 grup beton tipi üretilmiş, referans ve katkı oranı ile kullanılan mineral katkı türünün baş harflerine göre sırasıyla R, 10Z ve 20Z şeklinde kodlanmıştır. Beton karışım tasarımında TS 802 (TS 802, 2016) standardında belirtilen yöntem dikkate

alınarak karışıma girecek malzeme miktarları belirlenmiş, üretilen taze beton karışımları, kıvamı 8-10 cm arasında olacak şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan beton numunelerine ait 1 m³ karışıma giren malzeme miktarları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Beton numuneleri için 1m³ karışıma giren malzeme miktarı

Malzeme adı	Özgül ağırlık	PÇ, kg	10Z, kg	20Z, kg	
Agrega, mm	0-5	2,66	822	843	855
	5-19	2,69	586	602	611
	19-30	2,70	428	439	446
Toplam agrega		1836	1857	1884	
PÇ	3,17	400	360	320	
Zeolit	2,18	-	40	80	
HA	1,184	4,800	4,320	4,800	
Su	1	139,7	139,7	123,2	

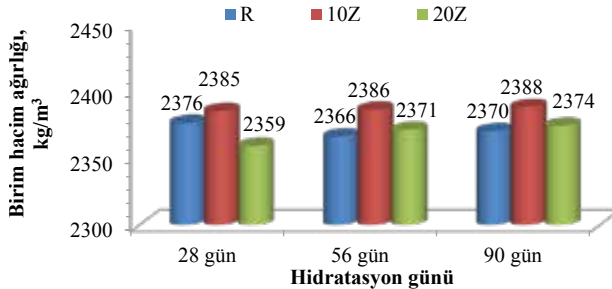
Üretilen betonlar, ayrışmaya izin verilmeyecek şekilde alınarak 15x15x15 cm boyutlarında küp kalıplara yerleştirilmiş ve 24 saat kalıpta bekleyen ve prizini alan beton numuneler, 23±2 °C suda 28 gün kür edilmiştir. 28 gün sonunda sudan çıkarılan beton numuneleri %5 H₂SO₄ çözeltisine koyularak deney tasarımında belirlenen esaslar çerçevesinde 56 ve 90 güne kadar kimyasal etkiye tabi tutulmuştur. Hazırlanan sertleşmiş beton numuneleri, 28, 56 ve 90. günlerde birim ağırlık, su emme, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme, yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur.

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

Zeolit ikame oranlarına bağlı olarak, H₂SO₄ ortamındaki kür edilen sertleşmiş beton numunelerinin özelliklerindeki değişimi belirlemek amacıyla birim ağırlık, su emme, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme, yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiş ve deneylere ait veriler maddeler halinde irdelenmiştir.

3.1 Sertleşmiş Beton Birim Ağırlığı

Sertleşmiş betonun birim ağırlığı TS EN 12390-7’ye (TS EN 12390-7, 2010) uygun olarak hesaplanmış ve deney sonuçları Şekil 1’de verilmiştir.



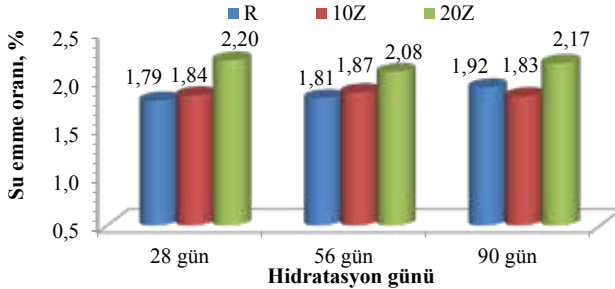
Şekil 1. Sertleşmiş beton birim hacim ağırlık değerleri

H₂SO₄ ortamında kür edilen sertleşmiş beton numunelerinin birim ağırlık verilerine göre, 28. hidrasyon gününde 20Z kodlu beton numunesinin en düşük (2359 kg/m³), 10Z kodlu beton numunesinin ise en büyük (2385 kg/m³) değere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu beton numunelerinin birim ağırlıkları referans beton numunelerine göre, 20Z kodlu beton örneği %0,07 oranında azalırken, 10Z kodlu beton numunesinin %0,4 oranında artmaktadır. 56. hidrasyon gününde elde edilen beton numunelerinin birim ağırlık değerlerine göre, Referans beton numunesinin en düşük (2366 kg/m³), 10Z kodlu beton numunesinin ise en büyük (2386 kg/m³) değere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu beton numunelerinin birim ağırlıkları referans beton numunelerine göre, 10Z kodlu beton örneği %0,8 oranında, 20Z kodlu beton numunesinin ise %0,2 oranında artmaktadır. 90. hidrasyon günündeki beton

numunelerinin birim ağırlık değerlerine göre, Referans beton numunesinin en düşük (2370 kg/m³), 10Z kodlu beton numunesinin ise en büyük (2388 kg/m³) değere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu beton numunelerinin birim ağırlıkları referans beton numunelerine göre, 10Z kodlu beton örneği %0,8 oranında, 20Z kodlu beton numunesinin ise %0,2 oranında artmaktadır (Şek. 1).

3.2 Su Emme Oranı

Zeolit ikameli betonların su emme miktarlarındaki değişimi belirlemek amacıyla TS EN 12390-7'ye (TS EN 12390-7, 2010) uygun olarak deneyler gerçekleştirilmiş ve sertleşmiş beton numunelerine ait deney sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Sertleşmiş beton su emme oranları

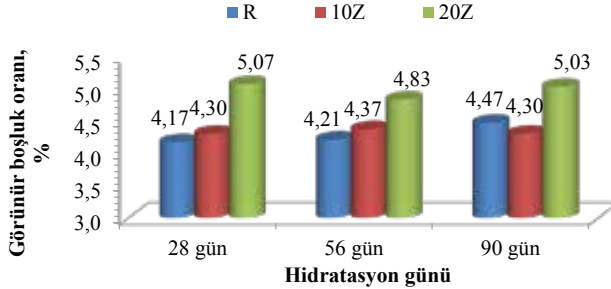
H₂SO₄ ortamında kür edilen sertleşmiş beton numunelerinde belirlenen su emme oranlarının tüm hidrasyon günleri esas alındığında %1,79 ile %2,20 arasında değiştiği belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre, 28. hidrasyon gününde referans beton numunesinin en düşük (%1,79), 20Z kodlu beton numunesinin ise en büyük (%2,20) değere sahip olduğu belirlenmiştir. 28. hidrasyon gününde su ortamında kür edilen beton numunelerinin su emme oranlarının referans beton numunelerine göre, 10Z ve 20Z kodlu beton numuneleri sırasıyla %2,8 ve %22,9 oranında artmaktadır. 56. hidrasyon günündeki

beton numunelerinin su emme oranlarına göre, referans beton numunesinin en düşük (%1,81), 20Z kodlu beton numunesinin ise en büyük (%2,08) değere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu beton numunelerinin su emme oranlarının referans beton numunelerine göre, 10Z ve 20Z kodlu beton numuneleri sırasıyla %3,3 ve %14,9 oranında artmaktadır. 90. hidrasyon günündeki beton numunesinin su emme oranlarına göre, 10Z kodlu beton numunesinin en düşük (%1,83), 20Z kodlu beton numunesinin ise en büyük (%2,17) değere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu beton numunelerinin su emme oranları, referans

beton numunelerine göre, 10Z kodlu beton numunesi %5 oranında azalırken, 20Z kodlu beton numunesi %13 oranında artmaktadır (Şek. 2). Su emme oranları genel olarak değerlendirilecek olursa en uygun değer 90 gün yaşında 10Z kodlu beton örneğinde olduğu tespit edilmiştir.

3.3 Görünür Boşluk Oranı

Zeolit ikameli betonların görünür boşluk oranı tayini, TS EN 12390-7'ye (TS EN 12390-7, 2010) belirtilen esaslara uygun olarak yapılmış deney sonuçları Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Beton numunelerinin görünür boşluk oranları

Üretilen ve H₂SO₄ ortamında kür edilen sertleşmiş beton numunelerinde 28. hidratasyon gününde belirlenen görünür boşluk oranları, referans beton numunesinde en düşük (%4,17), 20Z kodlu beton numunesinde ise en büyük (%5,07) değere sahip olduğu belirlenmiştir. 28. hidratasyon gününde su ortamında kür edilen beton numunelerinin görünür boşluk oranları referans beton numunelerine göre, 10Z ve 20Z kodlu beton numuneleri sırasıyla %3,1 ve %21,6 oranında artmaktadır. 56. hidratasyon günündeki beton numunelerinin görünür boşluk oranlarına göre, referans beton numunesinde en düşük (%4,21), 20Z kodlu beton numunesinde ise en büyük (%4,83) değere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu beton numunelerinin görünür boşluk oranlarının referans beton numunelerine göre, 10Z ve 20Z kodlu beton numuneleri sırasıyla %3,8 ve %14,7 oranında artmaktadır. 90. hidratasyon günündeki beton numunelerinin görünür boşluk oranlarına göre 10Z kodlu beton numunesinde en küçük (%4,30), 20Z kodlu beton numunesinde ise en büyük (%5,03) değeri aldığı

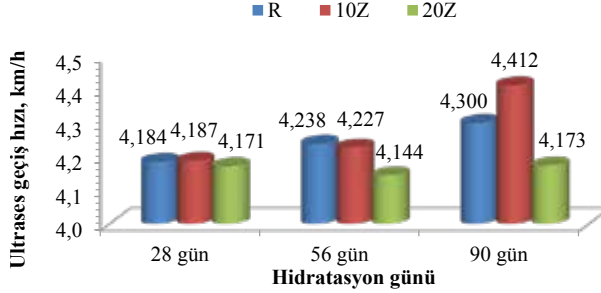
belirlenmiştir. Bu beton numunelerinin görünür boşluk oranlarının referans beton numunelerine göre, 10Z kodlu beton numunesinde %3,8 oranında azalırken, 20Z kodlu beton numunesinde %12,5 oranında artmaktadır (Şek. 3). Görünür boşluk oranları; genel olarak 90 gün yaşında 10Z kodlu beton örneğinde en uygun değer olarak tespit edilmiş, ayrıca tüm hidratasyon günlerinde birim hacim ağırlıkları ve su emme oranları ile uyumlu olarak gelişmiştir.

3.4 Ultrases Geçiş Hızı

Ultrases geçiş hızının belirlenmesi için betonun içerisine gönderilen ses üstü dalgaların, betonun bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülerek dalga hızı hesaplanmaktadır (ASTM C597-02, 2004). Hesaplanan bu ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak belirlenebilmektedir. Katı bir malzemenin içerisinden geçen ses üstü dalgalarının hızı, geçtiği malzemenin elastisite modülü ve yoğunluğu ile ilgilidir. Bu çalışmada beton bloğun bir yüzeyinden içeriye gönderilen ses üstü dalgasının, bloktaki diğer bir yüzeye ne

kadar zamanda geçtiği ölçülmüş ve elde edilen sertleşmiş beton numunelerine ait

ultrases geçiş hızı sonuçları Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Ultrases geçiş hızı değerleri

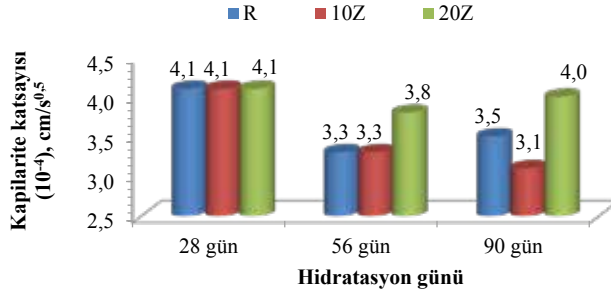
H₂SO₄ ortamında kür edilen beton numunelerinin 28. hidratasyon gününde belirlenen ultrases geçiş hızı değerlerinin 20Z kodlu beton numunesinde en küçük (4,171 km/s), 20Z kodlu beton numunesinde ise en yüksek (4,187 km/s) değere sahip olduğu belirlenmiştir. 28. hidratasyon gününde su ortamında kür edilen beton numunelerinin ultrases geçiş hızı değerleri referans beton numunesine göre, 10Z kodlu beton numunesinde %0,1 oranında artarken, 20Z kodlu beton numunesinde %0,3 oranında azalmaktadır. 56 gün yaşına kadar kür edilen beton numunelerinin ultrases geçiş hızı değerlerine göre, referans beton numunesinde en yüksek (4,238 km/s), 20Z kodlu beton numunesinde ise en küçük (4,144 km/s) değeri aldığı belirlenmiştir. Bu beton numunelerinin ultrases geçiş hızı değerleri referans beton numunelerine göre, 10Z ve 20Z kodlu beton numuneleri sırasıyla %0,3 ve %2,2 oranında azalmaktadır. 90. hidratasyon gününde kür edilen beton numunelerinin ultrases geçiş hızı değerlerine göre, 10Z kodlu beton numunesinde en

yüksek (4,412 km/s), 20Z kodlu beton numunesinde ise en küçük (4,173 km/s) değeri aldığı belirlenmiştir. Bu beton numunelerinin ultrases geçiş hızı değerleri referans beton numunelerine göre, 10Z kodlu beton numunesinde %2,6 oranında artarken, 20Z kodlu beton numunesinde %0,3 oranında azalmaktadır (Şek. 4).

Ultrases geçiş hızı değerlerine göre üretilen tüm beton numunelerinin kalitesinin whitehurst tarafından yapılan sınıflandırmaya göre (3,5-4,5 km/h) iyi olarak tarif edilen beton sınıfında olduğu görülmektedir (Erdoğan, 2007).

3.5 Kapiler Su Emme

Birim alanda emilen su miktarlarının (Q/A) ortalamaları ile kapiler su emme sürelerinin karekökü ($t^{0.5}$) arasında bir grafik çizilmiştir. Ortaya çıkan grafiklerin eğimlerinden de kapilarite katsayıları elde edilmiş ve kapiler su emme deney sonuçlarına ait ortalama kapilarite katsayıları Şekil 5'de verilmiştir.



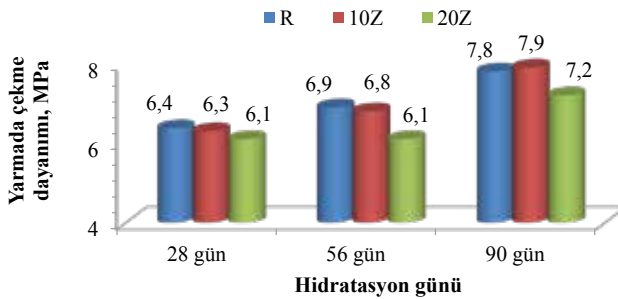
Şekil 5. Kapilarite katsayıları

H₂SO₄ ortamında kür edilen beton numuneleri üzerinde yapılan kapiler su emme deney sonuçlarına göre 28. hidrasyon gününde referans ve zeolit ikameli beton numunelerinin $4,1 \times 10^{-4}$ cm/s^{0,5} ile eşit olarak; 56 gün sonunda 20Z kodlu beton numunesinin $3,8 \times 10^{-4}$ cm/s^{0,5} ile en büyük, referans ve 10Z kodlu beton numunelerinin ise $3,3 \times 10^{-4}$ cm/s^{0,5} ile en küçük, 90 gün sonunda 20Z kodlu beton numunesinin $4,0 \times 10^{-4}$ cm/s^{0,5} ile en büyük, 10Z kodlu beton numunesinin ise $3,1 \times 10^{-4}$ cm/s^{0,5} ile en küçük ortalama kapilarite katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir (Şek. 5). Yapılan araştırmalara göre üretilen betonların kapiler boşluklarının az olduğu ve beton kalitesinin iyi olduğu belirlenmiştir

(Ghrici vd., 2007; Siddique ve Kadri, 2011; Topçu vd., 2009). Kapilarite katsayılarının; genel olarak 90 gün yaşında 10Z kodlu beton örneğinde kapilarite katsayısının, referans beton numunesine göre daha iyi çıkması, zeolit dayanıklılık açısından betona olumlu katkı sağlayabileceği düşündürmektedir.

3.6 Yarmada Çekme Dayanımı

Yarmada çekme dayanımı deneyi, 28, 56 ve 90. hidrasyon gününde 15x15x15 cm boyutlarında küp numuneler için TS EN 12390-6 (TS EN 12390-6, 2010) standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmış ve elde edilen değerler Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Yarmada çekme dayanımı değerleri

Sonuçlar incelendiğinde H₂SO₄ ortamında kür edilen beton numunelerinin yarmada çekme dayanımlarının mineral katkı türüne, ikame oranına, tane boyutuna, özgül yüzey alanına ve hidrasyon süresine göre farklı

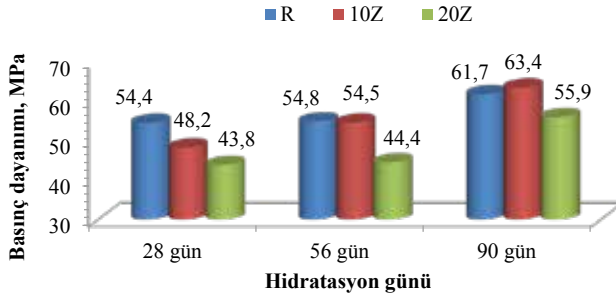
değerler aldığı görülmektedir. Gerçekleştirilen yarmada çekme dayanımı sonuçlarına göre, 28. hidrasyon gününde 20Z kodlu beton numunesinde en düşük (6,1 MPa), referans betonun ise en büyük (6,4

MPa) yarmada çekme dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. 28 gün sonunda yapılan yarmada çekme dayanımları referans beton numunelerine göre, 10Z ve 20Z kodlu beton numuneleri sırasıyla %1,6 ve %4,7 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir. 56. hidrasyon gününde yarmada çekme dayanımı değerlerine göre 20Z kodlu beton numunesinde en düşük (6,1 MPa), referans betonların ise en büyük (6,9 MPa) yarmada çekme dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu betonların yarmada çekme dayanımları referans beton numunelerine göre, 10Z ve 20Z kodlu beton numuneleri sırasıyla %1,4 ve %11,6 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir. 90. hidrasyon gününde yarmada çekme dayanımı değerleri esas alındığında 20Z kodlu beton numunesinde en düşük (7,2 MPa), 10Z kodlu beton numunesinin ise en büyük (7,9 MPa) yarmada çekme dayanımına sahip olduğu

belirlenmiştir. Bu betonların yarmada çekme dayanımları referans beton numunelerine göre, 10Z kodlu beton numunesinin %1,3 oranında dayanım artışı sağlarken, 20Z kodlu beton numunesinde %7,7 oranında bir dayanım düşüklüğü olduğu belirlenmiştir (Şek. 6).

3.7 Basınç Dayanımı

Betonun taşıyıcılığının en belirgin ölçütü basınç dayanımı olarak ifade edilmekte ve genellikle betonun kalitesi de basınç dayanımıyla temsil edilmektedir. Maksimum kırılma yüklerine göre beton küp numunelerin basınç dayanımları, TS EN 12390-3 (TS EN 12390-3, 2010) standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmış ve elde edilen sertleşmiş beton numunelerine ait veriler Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Basınç dayanımı değerleri

H₂SO₄ ortamında kür edilen beton numunelerinin basınç dayanımı sonuçlarına göre, 28. hidrasyon gününde 20Z kodlu beton numunesinin en düşük (43,8 MPa), referans betonun ise en büyük (54,4 MPa) basınç dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. 28 gün sonunda yapılan basınç dayanımları referans beton numunesine göre, 10Z ve 20Z kodlu beton numunelerinde sırasıyla %11,4 ve %19,5 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir. 56. hidrasyon gününde basınç dayanımı değerleri genel olarak esas alındığında, 20Z kodlu beton numunesinin

en düşük (44,4 MPa), referans betonun ise en büyük (54,8 MPa) basınç dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu betonların basınç dayanımları esas alındığında referans beton numunesine göre, 10Z ve 20Z kodlu beton numunelerinde sırasıyla %0,5 ve %19 oranında bir dayanım düşüklüğü sergilemektedir. 90. hidrasyon gününde basınç dayanımı değerleri genel olarak esas alındığında, 20Z kodlu beton numunesinin en düşük (55,9 MPa), 10Z kodlu beton numunesinin ise en büyük (63,4 MPa) basınç dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu betonların basınç dayanımları esas

alındığında referans beton numunesine göre, 10Z kodlu beton numunesinin %2,8 oranında dayanım artışı sağlarken, 20Z kodlu beton numunesinde %9,4 oranında bir dayanım düşüklüğü olduğu belirlenmiştir (Şek. 7).

Bu durum 10Z kodlu beton numunesinde ileriki hidratasyon aşamalarında puzolanik özelliğinden dolayı basınç dayanımının artış oranlarının daha olumlu olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda zeolit ikameli beton numunelerinin dayanım kazanma hızlarının beklendiği gibi, referans betona göre daha yavaş olduğu da belirlenmiştir.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

H₂SO₄ ortamında kür edilen sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgulara göre;

- Tüm beton numunelerinin birim ağırlıklarına göre, 28. hidratasyon gününde 20Z kodlu beton numunesinin en düşük (2359 kg/m³), 90. hidratasyon gününde 10Z kodlu beton numunesinin ise en büyük (2388 kg/m³) değere sahip olduğu,

- Su emme oranları ve görünür boşluk oranlarına göre en uygun değer, 90 gün yaşında 10Z kodlu beton örneğinde olduğu,

- Ultrases geçiş hızı değerlerine göre üretilen tüm beton numunelerinin kalitesinin whitehurst tarafından yapılan sınıflandırmaya göre (3,5-4,5 km/h) iyi olarak tarif edilen beton sınıfında olduğu,

- Tüm ortamlarda hidratasyon yaşı ilerledikçe betonun yapısındaki kılcal kanallar yoluyla emilen su miktarının azaldığı, ayrıca referans beton numunesine göre kapilarite katsayılarının; genel olarak 90 gün yaşında 10Z kodlu beton örneğinde daha iyi çıkması, zeolit dayanıklılık açısından betona olumlu katkı sağlayabileceği,

- Beton örneklerinin eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin malzeme türüne, ikame oranına ve beton yaşı faktörüne bağlı olarak değiştiği; zeolit ikameli beton örneklerinin dayanım kazanma hızlarının,

referans betona göre daha yavaş olduğu; üretilen betonlarda basınç dayanımı değerlerinin, ultrases geçiş hızı ve kapiler su emme değerleriyle uyumlu olarak geliştiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak ülkemizin zengin doğal kaynaklarından olan zeolitin, beton sektöründe kullanılabilirliğinin ortaya konulmasının uygun olduğu, çimento ve beton sektöründe geniş kullanım alanına sahip yapay puzolan sınıfındaki yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı gibi malzemelere de alternatif olacağı düşünülmektedir. Ayrıca üretilen beton tipleri için agrega tipi, kimyasal katkı tipi, kür ortamı, çimento dozajı gibi özellikler farklı şekillerde oluşturulup, elde edilen veriler kıyaslanabilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışmamızı 2011.03.HD.09 proje kod numarasıyla maddi olarak destekleyen Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Komisyon Başkanlığına teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Afshinnia, K, Rangaraju, PR, 2016. Impact of combined use of ground glass powder and crushed glass aggregate on selected properties of Portland cement concrete, Construction and Building Materials, cilt 117, s. 263–272.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), 2004. Standard test method for pulse velocity through concrete, ASTM C597–02, USA.
- Binici, H, Sevinç, AH, Durgun, MY, 2010. Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Özellikleri, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt 13, sayı 1, s. 1-14.
- Canpolat, F, 2002. Çimento performansının geliştirilmesinde doğal zeolitin endüstriyel atıklarla birlikte çimento üretiminde kullanılması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Dorum, A, Koçak, Y, Yılmaz, B, Uçar, A, 2009. Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Yüzey Özelliklerine ve Hidratasyona Etkileri,

- Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, cilt 19, s. 47–58.
- Erdoğan, TY, 2007. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim AŞ., ISBN / ISSN: 975-7064-67-x, Ankara, Türkiye.
- Gerengi, H, Kocak, Y, Jażdżewska, A, Kurtay, M, Durgun, H, 2013. Electrochemical investigations on the corrosion behaviour of reinforcing steel in diatomite- and zeolite-containing concrete exposed to sulphuric acid, *Construction and Building Materials*, cilt 49, s. 471–477.
- Ghrici, M, Kenai, S, Said–Mansour, M, 2007. Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cement, *Cement & Concrete Composites*, cilt 29, sayı 7, s. 542–549.
- Keleştemur, O, Demirel, B, 2015. Effect of metakaolin on the corrosion resistance of structural lightweight concrete, *Construction and Building Materials*, cilt 81, s. 172–178.
- Kocak, Y, 2010. A Study on the Effect of Fly Ash and Silica Fume Substituted Cement Paste and Mortars, *Scientific Research and Essays*, cilt 5, sayı 9, s. 990–998.
- Koçak, Y, Dorum, A, Yılmaz, B, Uçar, A, 2010. Trasin Çimento Yüzey Özelliğine, Hidratasyona ve Basınç Dayanımına Etkisi. E–Journal Of New World Sciences Academy Technological Applied Sciences, cilt 5, sayı 1, s. 1–14.
- Kocak, Y, Nas, S, 2014. The effect of using fly ash on the strength and hydration characteristics of blended cements, *Construction and Building Materials*, cilt 73, s. 25–32.
- Kocak, Y, Savaş, M, 2016. Effect of the PC, diatomite and zeolite on the performance of concrete composites, *Computers and Concrete*, cilt 17, sayı 6, s. 815–829.
- Kocak, Y, Tascı, E, Kaya, U, 2013. The effect of using natural zeolite on the properties and hydration characteristics of blended cements, *Construction and Building Materials*, cilt 47, s. 720–727.
- Kuyumcu, HM, 2006. Deniz suyu ve sülfatlı suların beton dayanımına etkisi, Yüksek lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Laserna, S, Montero, J, 2016. Influence of natural aggregates typology on recycled concrete strength properties, *Construction and Building Materials*, cilt 115, s. 78–86.
- Li, Z, 2016. Drying shrinkage prediction of paste containing meta-kaolin and ultrafine fly ash for developing ultra-high performance concrete, *Materials Today Communications*, cilt 6, s. 74–80.
- Okoye, FN, Durgaprasad, J, Singh, NB, 2016. Effect of silica fume on the mechanical properties of fly ash based-geopolymer concrete, *Ceramics International*, cilt 42, s. 3000–3006.
- Serbest, D, 1999. Doğal zeolitlerin hafif yapı endüstrisinde kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Siddique, R, Kadri, E–H, 2011. Effect of metakaolin and foundry sand on the near surface characteristics of concrete, *Construction and Building Materials*, cilt 25, sayı 8, s. 3257–3266.
- Subaşı, A, Emiroğlu, M, 2015. Effect of metakaolin substitution on physical, mechanical and hydration process of White Portland cement, *Construction and Building Materials*, cilt 95, s. 257–268.
- Topçu, İB, Bilir, T, Uygunoğlu, T, 2009. Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, cilt 23, s. 1947–1953.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2016. Beton karışım tasarımı hesap esasları, TS 802, Ankara, Türkiye.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2010. Beton–Sertleşmiş Beton Deneyleleri, Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, TS EN 12390–7, Ankara, Türkiye.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleleri - Bölüm 6: Deneyle numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, TS EN 12390–6, Ankara, Türkiye.
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2010. Beton–Sertleşmiş Beton Deneyleleri–Deneyle numunelerinde basınç dayanımının tayini, TS EN 12390–3, Ankara, Türkiye.
- Yıldız, K, Dorum, A, Koçak, Y, 2010. Pomza Zeolit Ve Cem I Çimentosunun Minerolojik Moleküler Elektrokinetik Ve Termal Uyumunun Yüksek Dayanımlı Betona Etkisinin Araştırılması, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, cilt 25, sayı 4, s. 867–879.
- Zhao, H, Sun, W, Wu, Xiaoming, Gao, B, 2015. The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures, *Journal of Cleaner Production*, cilt 95, s. 66–74.

Agrega Madenciliğinin Hazır Beton Üretimindeki Yeri

Place in the Ready Mixed Concrete Production of Aggregate Mining

E. Kahraman, A. M. Kılıç

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET Kırmataş hazır beton üretimde yaygın olarak kullanılır. Beton hacminin yaklaşık %75'ini agrega oluşturmaktadır. Bu çalışmada kırmataşın hazır beton üretimindeki yeri değerlendirilmiştir. Ayrıca son yıllardaki hazır beton üretimi ve agrega tüketim oranları incelenmiştir.

ABSTRACT Crushed stone is widely used in ready mixed concrete production. Aggregate constitutes about 75% of the volume of mixed concrete. This study was evaluated crushed stone place in the ready mixed concrete production. In addition, in recent years the production of ready-mixed concrete and aggregate consumption ratio were investigated.

1 GİRİŞ

Ülkemizde yapı sektörü önemli oranlarda büyüme göstermektedir. Yapı sektöründeki artan ivme beraberinde hazır beton üretimini de arttırmaktadır. Hazır beton üretimin son yıllarda büyük oranda artmasının nedenleri (Ekti, 2012);

- Son yıllarda inşaat sektöründe yaşanan büyüme,
- Konut talebinin artması (TOKİ'nin yurt genelindeki konut inşaatları etkili olmuştur) ve hazır betonun fazla miktarda kullanıldığı büyük projelerin olması,
- Türkiye'de en çok betonarme yapıların tercih edilmesi,
- Hazır beton üretiminde kullanılan malzemelerin yerli olması,
- Hazır beton tesislerinin yaygınlaşması,
- Kentsel dönüşüm projesinden dolayı hazır betona olan ihtiyacın artmasıdır.

Hazır beton üretiminde kırmataş (agrega) ana hammaddedir. Betonun karışım oranları değişmekle beraber genelde hacminin yaklaşık %75'ini agrega oluşturmaktadır. Bundan dolayı kırmataş kullanım alanlarının en başında beton endüstrisi gelmektedir.

Beton endüstrisinde kullanılan agreganın beton dayanımını etkileyecek mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğine (TÇMB) kayıtlı olan beton santrallerinin verilerinden oluşan istatistikler kullanılmıştır. Bu istatistikler baz alınarak yıllara göre ülkemizde beton endüstrisinde kullanılan agrega miktarları belirlenmiştir. Agreganın hazır beton üretimindeki önemi göz önüne serilmiştir.

2 BETON VE BETON ÜRETİMİNDE AGREGANIN ÖNEMİ

Hazır beton çimento, agrega (kum, çakıl, kırma taş), su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin belli bir üretim teknolojisine uygun olarak karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik ya da akıcı kıvamda olup şekil verilebilen ve zamanla katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanan önemli bir yapı malzemesidir.

Hazır beton üretiminde kullanılan ana hammaddeler başta kırmataş (agrega), çimento ve sudur. Beton mutlak hacim olarak %75 oranında agrega, %10 oranında çimento ve %15 oranında sudan oluşur (Şekil 1). Gerektiğinde, çimento ağırlığının % 2'sinden fazla olmamak kaydı ile katkı maddesi ilave edilebilir.

Hazır betonda aranan temel özellikleri iki grupta sınıflandırmaktadır (Usta, 2005).

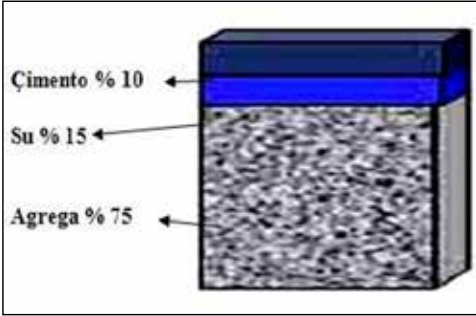
a)Taze Betonda aranan özellikler

- İşlenebilme özelliği,
- Uygun kıvam,

- Taze betonun sıcaklığı,
- Agreganın maksimum tane büyüklüğü,
- Homojenlik,
- kıvam kaybı,
- hava miktarı,
- Birim ağırlık olarak sıralanmaktadır.

b) Sertleşmiş betonda aranan özellikler:

- Dayanım (basınç, çekme, eğilme, yarıma mukavemetleri),
- Dış etkenlere karşı dayanıklılık (geçirimsizlik, aşınmaya dayanıklılık),
- Donma ve çözölmeye dayanıklılık,
- Hafiflik veya ağırlık,
- Isı, ses yalıtımı ve estetik (dış görünüşü)
- Ekonomi ,



Şekil 1. Hazır beton malzeme oranları (MEB, 2012)

TS EN 206-1'e göre beton 3 sınıfa ayrılmıştır:

➤ **Normal beton:** Etüv kuru durumda birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2000 kg/m³'ten büyük, 2600 kg/m³'ten küçük olan betondur.

➤ **Ağır beton:** Etüv kuru durumda birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2600 kg/m³'ten daha büyük olan betondur.

➤ **Hafif beton:** Etüv kuru durumda birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 800 kg/m³'ten büyük, 2000 kg/m³'ten küçük olan betondur. Hafif beton, betonda kullanılan agreganın bir kısmı veya tamamı hafif agrega olarak imal edilir (TS EN 206, 2014).

2.1 Beton Agregaları ve Çeşitleri

Agrega; yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemesinin genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış ve/veya kırılmış tanelerinin bir yığındır. Aşağıda agrega çeşitleri ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir (Çağlayan ve ark, 1999).

Doğal Agreg: Doğal taş agrega; nehirlerden, denizlerden; göllerden ve taş ocaklarından elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadır.

Yapay Agreg: Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır. Yapay taş veya Yapay kum olarak da adlandırılmaktadır.

İri Agreg: 4 mm açıklıktaki kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.

Çakıl: Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

Kırma Taş: Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

Kum: Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregalardır.

Kırma Kum: Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Çakılın kırılması ile elde edilir.

Karışık Agreg: İnce ve iri agrega karışımıdır.

Doğal Karışık Agreg (Tuvenan Agreg): Agreganın ocağından, kırıcıdan veya sanayiden doğrudan doğruya elde edilen karışık agregadır. Maksimum tane büyüklüğünden büyük taneleri ayırmak için eilenmiş agregalara da doğal karışık agrega denir.

Hazır Karışık Agreg: İnce ve iri agreganın veya birkaç tane sınıfına ayrılmış bu agregaların belirli tane dağılımı (granülometri) sağlayacak şekilde beton yapımı sırasında yerinde birbirine karıştırılması ile meydana gelen agregadır

2.2 Beton Agregasının Özellikleri

Betonda kullanılan kırmataşın kalitesi beton dayanımı üzerinde etki etmektedir. Kullanılacak malzemenin TS 706 EN 12620+A1 ve TSE 699 standartlarında belirtilen bazı özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu özellikler aşağıda sıralanmıştır.

Beton Agregasının Fiziksel Özellikleri

- Parçalanmaya Karşı Direnç (Los Angeles)
- Aşınmaya Karşı Direnç (Mikro Deval)
- Tane Yoğunluğu ve Su Emme
- Yığın Yoğunluğu
- Dona Karşı Dayanım
- Hacim Kararlılığı
- Alkali Silika reaktivitesi

Beton Agregasının Kimyasal Özellikleri

- Klor İçeriği
- Kükürt İçeriği
- Sülfat İçeriği

Beton Agregalarında Geometrik Özellikler

- Tane Sınıfının Belirlenmesi

- Çok İnce Malzeme İçeriği
- Tane Şekli (Yassılık) Tayini

Beton Agregalarında Geometrik Özellikler

- Nokta Yük Dayanımı
- Darbe Dayanımı
- Eğilme Dayanımı
- Basınç Dayanımı

Yukarıda sıraladığımız tüm özelliklerin ilgili standartta belirtilen şartları sağlaması gerekmektedir. Kullanılan agrega ne kadar kaliteli olur ise yapılan beton o kadar kaliteli olacak ve ondan oluşturulan yapının ömrünü etkileyecektir.

3 TÜRKİYE'DE HAZIR BETON SEKTÖRÜ VE AGREGA KULLANIMI

Hazır beton üretimi ilk olarak 1903 yılında Almanyada yapılmıştır. Ülkemiz ise ilk hazır beton üretimi 1976 yılında Ankara'da yapılmıştır (Karakule, 2003).

Hazır beton tüketiminin yaygınlaşması ise 1980'li yılların ikinci yarısında gerçekleşmiştir. Bundan dolayı ülkemizde beton sektörü diğer ülkelere kıyas ile daha yeni yapılmış bir endüstri koludur. Betonunun günümüzde en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi olarak kullanılmasında en önemli etkenler şunlardır (Usta, 2005);

- Ucuzluğu,
- Bilgisayar kontrollü santraller, transmikserler, pompalar vb. ile üretim, taşıma ve yerleştirme aşamalarında büyük gelişmelerin sağlanmış olması,
- Şekil verilebilme kolaylığı,

- Çelik donatı ile (betonarne) çekme mukavemetinin yetersizliğinin dengelenmesi,
- Yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması,
- Fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı (uzun ömür, bakım kolaylığı),
- Hafif agrega ile hafifletilmesi ve pigmentlerle renklendirilmesidir.

Ülkemiz ekonomik bir gelişim süreci içerisinde. Bu gelişim ile birlikte inşaat sektörü sürekli ilerleme kaydetmektedir. Yapı sektöründeki düzenlemeler hazır beton üretimini genişletecektir.

3.1 Ülkemizde Hazır Beton Üretimi

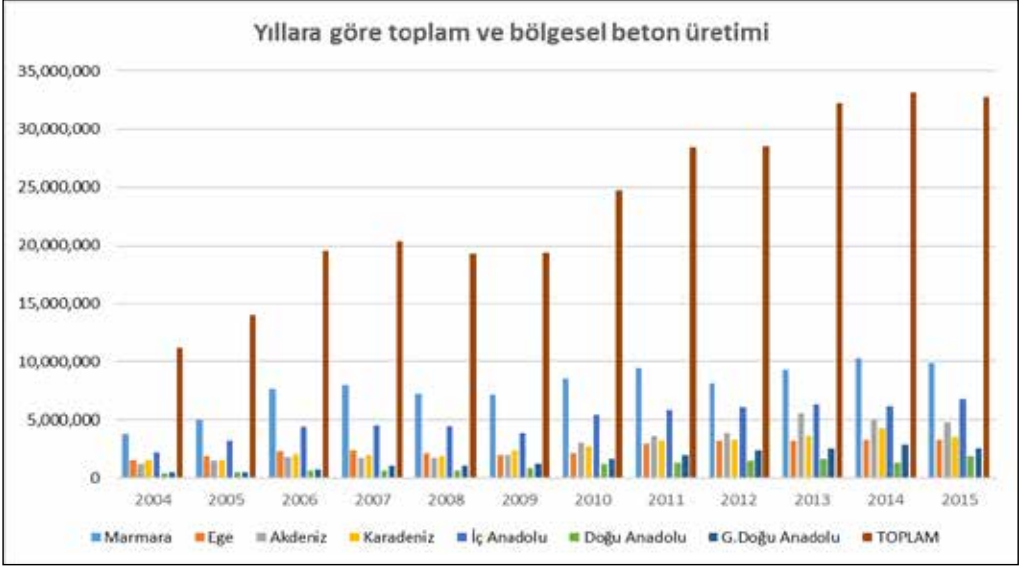
Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğine kayıtlı hazır beton üretimi yapan işletmelerin üretim miktarları bölgesel ve genel olarak incelenmiştir. Bu incelemelerde Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğinin istatistiklerinden faydalanılmıştır.

Kentsel dönüşüm projelerinin aktif hale gelmesi önümüzdeki yıllarda hazır beton üretimine olan talebin artmasına sebep olacaktır.

Ülkemizde son on yılda en fazla hazır beton üreten bölge Marmara Bölgesi olarak görülmektedir. Marmara bölgesindeki hazır beton üretiminin fazla olmasının sebebi yapılan tünel, köprü ve yapı çalışmalarının yoğunluğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Üretimin en az olduğu bölge ise Doğu Anadolu bölgesidir. Çizelge 1, Şekil 2'de yıllara göre tüm bölgelerin hazır beton üretimleri verilmiştir.

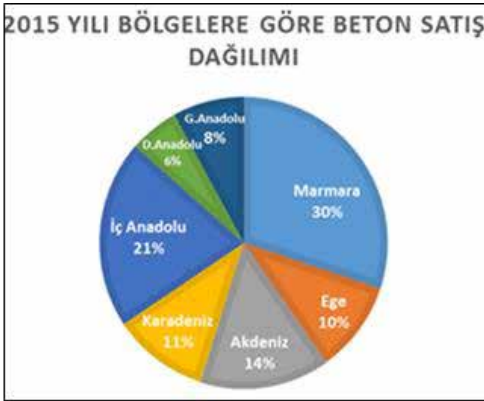
Çizelge 1. Yıllara göre bölgesel beton üretim oranları (m³)

	Marmara	Ege	Akdeniz	Karadeniz	İç Anadolu	Doğu Anadolu	G. Doğu Anadolu	Toplam
2004	3,785,523	1,566,045	1,221,315	1,554,686	2,245,152	382,851	453,006	11,208,578
2005	5,011,778	1,894,037	1,473,455	1,529,232	3,179,818	463,339	490,202	14,041,861
2006	7,611,558	2,355,259	1,746,522	2,127,195	4,386,914	595,875	725,146	19,548,469
2007	8,018,904	2,437,162	1,705,032	1,945,491	4,589,341	612,781	1,058,756	20,367,467
2008	7,276,144	2,201,175	1,718,343	1,833,204	4,504,897	610,443	1,098,096	19,242,302
2009	7,158,156	1,945,628	1,918,764	2,372,726	3,849,264	883,664	1,263,360	19,391,562
2010	8,567,306	2,182,910	2,988,165	2,700,650	5,393,688	1,260,033	1,636,102	24,728,854
2011	9,522,718	2,910,743	3,665,554	3,248,649	5,848,382	1,325,018	1,934,601	28,455,665
2012	8,184,681	3,206,412	3,874,283	3,323,195	6,073,864	1,458,849	2,436,365	28,557,649
2013	9,334,656	3,196,187	5,545,148	3,664,062	6,351,292	1,615,650	2,549,853	32,256,848
2014	10,239,927	3,310,538	5,000,132	4,258,505	6,170,794	1,330,181	2,839,058	33,149,135
2015	9,859,832	3,337,642	4,781,735	3,523,270	6,819,647	1,844,906	2,590,365	32,757,397



Şekil 2. Yıllara göre toplam ve bölgesel beton üretim

Şekil 3'de 2015 yılındaki bölgesel üretim oranlarının dağılımı görülmektedir.



Şekil 3. 2015 yılı bölgesel beton satış dağılımı

Son yıllardaki üretim oranlarına bakıldığında genel olarak en yüksek üretim oranı sırasıyla;

- 1.Marmara Bölgesi
- 2.İç Anadolu Bölgesi
- 3.Akdeniz Bölgesi
- 4.Karadeniz Bölgesi
- 5.Ege Bölgesi
- 6.Güney Doğu Anadolu Bölgesi
7. Doğu Anadolu Bölgesi olarak sıralanabilir.

3.1 Ülkemizde Hazır Betonda Kullanılan Agreganın Miktarları

Agrega üretim potansiyeli bakımından ülkemizde hiçbir sorun yoktur. Hammadde olarak agreganın tüm sektörlerin ihtiyacını karşılayacak miktarda taş ocağı işletmesi mevcut durumdadır. Üretilen agreganın büyük çoğunluğu hazır beton, çimento ve yol yapımında kullanılmaktadır. Agreganın madenciliğinde üretilen ürünler bu sektörlerin ana hammaddesidir.

Hazır beton üretiminde toplam hacmin yaklaşık %75'ini agreganın oluşturduğundan toplam agreganın kullanım miktarları ona göre hesaplanmıştır. Çizelge 2'de yıllara göre beton üretiminde kullanılan agreganın miktarları verilmektedir. Şekil 4'de ise yıllara göre hazır beton üretiminde kullanılan toplam ve bölgesel agreganın miktarları verilmiştir.

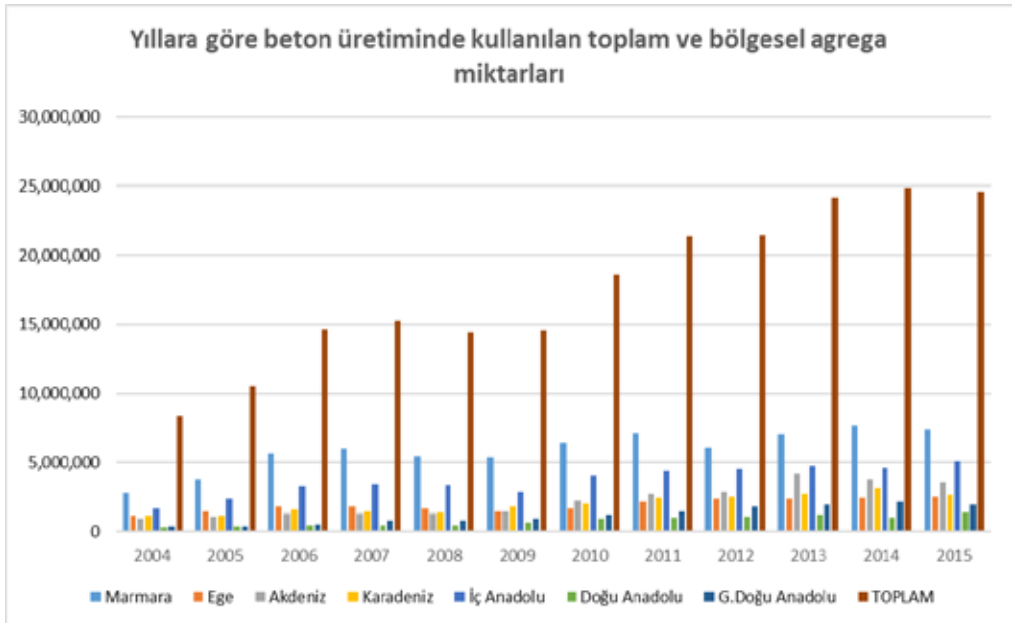
Hazır beton üretiminde kullanılan agreganın miktarının bölgesel dağılımı hazır beton üretimindeki dağılım ile aynıdır. Bölgesel sıralama değişmemektedir. Marmara bölgesi jeopolitik konumu itibarıyla en fazla üretime ihtiyaç duyulan bölgemizdir.

Beton sektöründe kullanılan agreganın miktarları incelendiğinde son yıllarda genel olarak lineer bir artış olduğu görülmektedir. 2004 yılında TCMB'ye kayıtlı olan beton santrallerinin kullandığı agreganın

miktarı 2015 yılında yaklaşık 3 kat artmış durumdadır. Bölgelerde de genel bir artış görülmektedir. Agreganın tüketimi bize sektörde ciddi bir büyümenin olduğunu göstermektedir. Bu da geçmiş yıllarda agrega üreticilerin pazar arayışlarının azalmasına sebep olacaktır.

Çizelge 2. Yıllara göre bölgesel beton üretiminde kullanılan agrega miktarları (m³)

	Marmara	Ege	Akdeniz	Karadeniz	İç Anadolu	Doğu Anadolu	G. Doğu Anadolu	Toplam
2004	2,839,142	1,174,534	915,986	1,166,015	1,683,864	287,138	339,755	8,406,434
2005	3,758,834	1,420,528	1,105,091	1,146,924	2,384,864	347,504	367,652	10,531,396
2006	5,708,669	1,766,444	1,309,892	1,595,396	3,290,186	446,906	543,860	14,661,352
2007	6,014,178	1,827,872	1,278,774	1,459,118	3,442,006	459,586	794,067	15,275,600
2008	5,457,108	1,650,881	1,288,757	1,374,903	3,378,673	457,832	823,572	14,431,727
2009	5,368,617	1,459,221	1,439,073	1,779,545	2,886,948	662,748	947,520	14,543,672
2010	6,425,480	1,637,183	2,241,124	2,025,488	4,045,266	945,025	1,227,077	18,546,641
2011	7,142,039	2,183,057	2,749,166	2,436,487	4,386,287	993,764	1,450,951	21,341,749
2012	6,138,511	2,404,809	2,905,712	2,492,396	4,555,398	1,094,137	1,827,274	21,418,237
2013	7,000,992	2,397,140	4,158,861	2,748,047	4,763,469	1,211,738	1,912,390	24,192,636
2014	7,679,945	2,482,904	3,750,099	3,193,879	4,628,096	997,636	2,129,294	24,861,851
2015	7,394,874	2,503,232	3,586,301	2,642,453	5,114,735	1,383,680	1,942,774	24,568,048



Şekil 3. Yıllara göre toplam ve bölgesel beton üretiminde kullanılan agrega miktarı

4. SONUÇLAR

Beton santralleri sektörünün üretim potansiyelini ve yapısını temel olarak inşaat sektöründeki gelişmeler şekillendirmektedir. Dünyada adından söz ettiren Türk inşaat sektörünün son dönemde yurt içi ve yurt dışında artan iş potansiyeli ve üstlendiği önemli projeler beton santrali üreticilerini olumlu yönde etkilemektedir. Yapı sektöründe devlet tarafından yapılan düzenlemeler (TOKİ, Kentsel Dönüşüm) ve yapı sektörüne olan talep ilerleyen yıllarda betonda kullanılan agrega miktarlarında önemli derecede artışa sebep olacaktır. Bu da hem agrega üretiminin hem de hazır beton endüstrisinin ilerlemesi demektir. Hazır beton üretimindeki bu ilerlemeye paralel olarak betonların üretiminde kullanılan agraga miktarlarında da artış göstermektedir. Beton üretiminde kullanılan agrega potansiyelinin artması geçmiş yıllarda pazar arayışında ciddi sorunlar yaşayan agrega üreticileri için alternatif olmuştur. Hatta pazarda en önemli tüketim yüzdesine sahip sektör hazır beton sektörü olmuştur.

Son yıllarda hazır beton üretiminde kullanılan agrega miktarlarına bakıldığında önemli oranlarda artışlar gözlenmiştir. Sadece Türk Çimento Mustahsilleri Birliğine kayıtlı olan beton üretim santrallerinin verileri üzerine değerlendirilme yapılmasına rağmen son yıllarda ortalama bu tesislerde 25 milyon m³ agrega kullanıldığı gözlenmiştir. TÇMB'e kayıtlı olmayan beton santralleri de bu orana eklenirse kullanılan agrega miktarının yaklaşık iki katına çıkacağı düşünülmektedir.

TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton agregaları, TSE, Ankara.

Usta, H., 2005. Hazır Beton Sektör Araştırması 42 s, Ankara.

KAYNAKLAR

- Çağlayan, M., Haberveren, S., İpekoğlu, B., Kurşun, İ., 1999. Beton Yapımında Kullanılan Agregaların Özellikleri Ve Örnek Bir Kuruluş "İston", 2 Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99, s.69-79, İstanbul.
- Ekti, E., 2012. Yapı Malzemeleri Sektör RaporuSektörel Raporlar Serisi VI, T.C. Doğu Marmara Kalkınma Ajansı Düzce Yatırım Destek Ofisi, 62 s, Düzce
- Hazır Beton Üretimi, 2012. Milli Eğitim Bakanlığı, , 73 s, Ankara
- <http://www.tcma.org.tr/index.php?page=icerikgoster&menuID=43>, 01.06.2016.
- Karakule, F., 2003. Türkiye Beton Birliği veHazır Beton Sektörü, Türkiye Mühendýslýk Haberleri (TMH),sayı 426-2003/4, s. 99-101, Ankara.
- TS EN 206, 2014. Beton - Özellik, performans, imalât ve uygunluk, TSE, Ankara.
- TSE 699, 2009. Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları. TSE, Ankara.

Agrega Tane Boyunun Betonun Yapısal ve Isıl Özelliklerine Etkisi

The Effect of Aggregate Particle Size to Structural and Thermal Properties of Concrete

M. U. Toprak

Dumlupınar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

Y. Kibici

Dumlupınar Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

V. Uz, N.D. Coşkun

Dumlupınar Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

S. Ersoy

Emlak Konut GYO, Türkiye

ÖZET Hazır beton kullanımı ve betonun pompa yardımıyla ile katlara iletilmesi, betonarme elemanlarda kullanılan donatıların sıklaştırılması beton agregasının boyutlarının küçülmesini gerektirmiştir. Betonda agrega boyutlarının küçülmesi; agreganın beton içerisinde dağılımı, toplam agrega yüzey alanı, agrega-çimento hamuru ara yüzü, toplam çimento hamuru miktarı, su-çimento oranı, işlenebilirlik, ısıl özellikler, mekanik özellikler ve beton fiyatını etkilemektedir. Yapılan bu çalışmada ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri 40, 50 ve 60 MPa olan 3 ayrı beton serisinde agrega tane boyutunun küçültülmesinin betonların mineralojik ve içyapı özelliklerine, betonların ısıl özelliklerine etkileri incelenmiştir.

Beton örneklerde kalsit, kuvars mineralleri ve agregaları bağlayan harç fazı belirlenmiştir. Kuvars keskin köşeli, girintili, kalsit kenarları ovalimsi tane şekline sahiptir. Brüt beton örneklerinin ısıl iletkenlikleri normal beton örneklerine göre düşüktür. Düşük dayanımlı betonlarda bünyede oluşan çatlak ve boşluklar ısı iletimini azaltmıştır. En yüksek ısı kapasitesi NB50(Normal Beton 50) ve en düşük NB60(Normal Beton 60) örneğinde olmuştur. Agregata tane boyutu ve beton dayanımının betonun yapısal ve ısıl özelliklerini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Optik mikroskop görüntülerinden, daha küçük tane boyutlu agregalar ile üretilen betonlarda agrega ile bağlayıcı fazın ara yüzeyinin daha kuvvetli olduğu görülmüştür. SEM görüntülerinden yüksek su-çimento oranı ile üretilen betonlarda bağlayıcı fazın çok daha boşluklu olduğu görülmüştür.

Anahtar kelime: Beton, Agregata tane boyu, İçyapı, Isıl özellikler.

ABSTRACT Use of ready-mixed concrete and concrete wafting to the floors with the help of the pump, intensifying the reinforcement used in concrete elements required the reduction of concrete aggregate size. Decreasing the aggregate size of concrete, dispersion of aggregate in concrete, total aggregate surface area, aggregate and cement matrix interface, total cement paste content, water-cement ratio, workability, thermal properties and mechanical properties affects the concrete price. In this study aggregate size decreasing effects on the mineralogical, microstructural and thermal properties of concrete were investigated for 3 concrete series having average uniaxial compressive strength values of 40,50 and 60 MPa. Mortar phase, that connect calcite, quartz minerals and aggregates, was determined in concrete examples. Quartz has sharp corners and recessed but calcite edges have oval particle shape. Thermal conductivity of the exposed concrete examples lower than the normal concrete examples. Cracks and gaps occur in the body of low strength concrete has reduced the heat conduction. While NB50(Normal Concrete) has the maximum heat capacity, NB 60 (Normal Concrete 60) has the lowest heat capacity value. It has been shown that aggregate grain size and strength of concrete significantly affect the structural and thermal properties of concrete. Optical microscope images determined the interface of aggregate and binding phase is stronger in concretes that produced by lower particle size aggregate. Binder phase in concrete that produced by the high water-cement ratio was found to be much more porous by SEM images.

Key words: Concrete, Aggregate particle size, Internal structure, Thermal properties.

1 GİRİŞ

İnşaat sektörünün temelini oluşturan ve her tür yapıda kullanımı mümkün olan en uygun malzeme betondur (Mehta ve Monteiro, 2006). Dünya çapında yüksek kullanım oranına sahip betonun 2014 yılı itibariyle Türkiye'deki kullanımı 102 milyon m³ değerine ulaşmıştır (www.thbb.org). Bu kullanım değerleri hızla gelişmekte olan ülkemizdeki altyapı çalışmalarıyla birlikte her geçen gün artmaktadır. Beton en ucuz ve en kolay ulaşılabilen malzeme olmasına rağmen beton içerisinde kullanılan çimento miktarı malzeme maliyetlerini arttırmaktadır. Gerek maliyet gerek yalıtım ve diğer özelliklerinin iyileştirilmesi için betonda kullanılan agrega oranı ve boyutu bu girdileri değiştiren etmenlerdir. Ülkemizde enerji tüketiminin yaklaşık %70-75 oranının ısıtma soğutma kaynaklı olması nedeniyle enerji talebini arttırmaktadır. Tüketilen enerjiyi karşılamak için alternatif enerji kaynaklarını kullanmak uygun gibi görülmekte bunu

uygulamaya geçirmek kısa zamanda mümkün değildir. Bu nedenle öncelikli olarak eldeki kaynakları kullanmak daha avantajlıdır. Son yıllarda ülkemizde ve Dünya'da enerji tüketimini azaltmak üzere pek çok malzeme geliştirilmiş ve binalarda yalıtım özelliklerini geliştirmek üzere kullanıma sunulmuştur (Şimşek vd., 2007; Aruntaş vd., 2007). Dünya'da ve Türkiye'de kullanılan beton miktarlarına ait tablo Çizelge 1.'de verilmiştir. Gelişmiş ülkelerde yapı sektörü daha yavaş büyüme gösterirken gelişmekte olan ülkemizde son yıllardaki büyük atılımlarla çok hızlı şekilde beton sektörü büyüme göstermiştir. Hem kentsel yenilenme hemde nüfus artışına göre ihtiyaç duyulan bina sayısı çok fazladır. Buda gelecek yıllardada ülkemizde beton sektörünün öneminin giderek artacağını göstermektedir.

Çizelge 1. Ülkelerin 2013 yılı beton üretimi (www.thbb.org)

Ülkeler	Üretim (milyon m ³)	Kişi başı Beton (m ³ /kişi)
İspanya	16.30	0.30
İtalya	31.70	0.50
Türkiye (2013)	102.0	1.30
Almanya	45.60	0.59
Fransa	38.60	0.60
Birleşik Krallık	19.60	0.30
Portekiz	2.70	0.30
Belçika	12.50	1.10
Polonya	18.00	0.50
İrlanda	2.40	0.50
Hollanda	6.60	0.40
Norveç	3.80	0.80
İsveç	3.30	0.30
Avrupa Ortalama	218.10	0.50
Rusya	44.00	0.30
ABD	230.00	0.80
Japonya	99.00	0.80

(*) Çizelge 'de ERMCO 2013 yılı verileri yer almaktadır.

Malzemelerde yalıtımı sağlayan gözenek yapısının özellikleri, doku, açık ve kapalı gözenek yapıları vb. özellikler yüksek katlı binalar için istenen hafiflikle beraber ısı yalıtımı açısından önemlidir. Kompozit bir yapı olarak beton incelendiğinde agrega, su ve çimento hamurundan meydana gelen üründe agregalar ve matris arasında oluşan bağlar beton özelliklerini belirler (Uğurlu, 1999). Gerek maliyet gerek yalıtım özelliklerinin geliştirilmesinde betonda kullanılan agrega oranı ve boyutu önemli bir faktördür.

Agrega granülometrisi standartlara uygun olursa beton içerisinde daha iyi yerleşerek çimento karışımının temas alanını arttırabilir. Kırmataş kullanımı, çimento ve agrega arasında oluşan bağ mukavemetini arttırır (Özgan, 2007).

Betonda kullanılacak agreganın tane şekli, küresel granülometrisi elek analiziyle tespit edilmiş, porozitesi ve su emmesi uygun, yoğunluk değerleri ise kuru ve yaş olarak yeterli olmalıdır. Kimyasal açıdan ise agreganın daha az organik madde içermesi, kil ve silt oranının düşük olması istenir. Ayrıca kömür ve linyit benzeri malzemelerle,

sülfatların olmaması veya çok düşük olması gerekir. Agregalar beton dayanımını düşüren ve reaksiyonlara sebep olan aktif silis içermemelidir. Mekanik açıdan bakıldığında ise agregaların tane dayanımı, gözeneklilik, aşınma dayanımı, dona dayanım, hacim konsantrasyonu ve mineralojik-petrografik açıdan analiz edilmesi gerekir. Bu özellikler betondaki agreganın kolay kırılmayan, hızlı aşınmayan ve sağlam olmasını sağlayan etmenlerdir (Özgan, 2007; Uğurlu, 1999).

Bu çalışmada, farklı tek eksenli sıkışma dayanımına sahip (40,50 ve 60 Mpa) beton karışımlarında agrega boyutunun beton özelliklerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Beton hazırlamada 0-3 mm dere kumu (DK), 0-5 mm kırma kum (KK) ve iki farklı boyutta kırmataş; 5-12 mm (KTI: Kırmataş I) ve 8-22 mm (KTII:Kırmataş II) kullanılmıştır. Kullanılan agregalara; elek analiz, su emme, suya doymun özgül yüzey ağırlık, aşınma dayanımı testleri ve kimyasal analiz yapılarak betonda kullanım uygunluğu belirlenmiştir. 28 günlük küp (15x15x15) dayanımları 40,50 ve 60 MPa olan beton serileri iki farklı agrega grubu; i) brüt beton (BB) için sadece (KTI), ii) normal beton (NB) için (KTI+KTII) kullanılarak 6 farklı beton serisi üretilmiştir. Örnek olarak BB-40 28 günlük ortalama basınç dayanımı 40 MPa olan brüt beton serisini temsil etmektedir. Beton örneklerinin ince kesit örnekleri hazırlanarak Nikon Polarize Binoküler mikroskopla görüntüleri incelenmiştir. Mineralojik analizleri Rigaku marka Rint 2000 model X-Ray difraktometreyle Cu-K α , $\lambda=1,541$ Å, 2 θ 5-70°, 2°/dk. şartlarında yapılmıştır. Altı farklı beton sınıfından elde edilen örneklerden 5x1x10cm ebadında dikdörtgen prizma şeklinde örnekler kesilerek ısı iletim analizine uygun şekilde hazırlanmıştır. Bu örneklerin ısı iletim analizleri geçici ısı köprüsü yöntemi ile

ölçüm yapan Linseis THB cihazıyla belirlenmiştir. Mikroyapı analizleri Nova nano SEM 650 model FEI marka elektron mikroskopuyla yapılmıştır.

2.1. Agregaların Özellikleri: Agregalar Pelitli Köyü, Gebze/Kocaeli de bulunan

agrega ocağından temin edilmiştir. Tüm agregalar BZ-004/S elek sallama cihazı ile TS EN 933-1: 2012 (EN) standart normuna göre elek analizi yapılarak normlara uygun tane boyutu dağılımında kullanılmıştır. Agregaların tane boyut dağılımları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Agregatane boyut dağılımı

Aggregate	Elek boyu (mm)							
	32	16	8	4	2	1	0.5	0.25
	Elekten geçen (%)							
DK	100	100	100	100	98.7	95.7	81.4	36.7
KK	100	100	100	94.2	74.8	49.6	30.4	18.2
KTI	100	100	61.6	1	0	0	0	0
KTII	100	56.5	1	0	0	0	0	0

TS-EN-ISO-1097-6, (2013)’e göre agregaların su emme oranları belirlenmiştir. Doğal kum için <math> < 2 < /math> su emme beton kullanımında idealdir (Şimşek, 2005). Kullanılan agregaların ağırlıkça su emme oranları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Agregaların su emme oranları

Agrega türü	Su Emme (%)
DK	1.5
KK	1.3
KTI	0.5
KTII	0.4

Agreganın betonda uygunluğunda özgül ağırlıkları TS-EN-ISO-1097-6, (2013)’e göre belirlenmiştir. Agregaların ortalama özgül ağırlıkları 2.2-2.7 ton/m³ aralığındadır. Agregaların suya doymun yüzey özgül ağırlıkları Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. Agregaların özgül yüzey ağırlıkları

Agreganın türü	Özgül Ağırlık (kg/m ³)
DK	2640
KK	2660
KTI	2700
KTII	2710

Karışımlarda kullanılan agregaların kimyasal analizi Çizelge 5’te verilmiştir.

Kireç taşı agregaların CaO içeriği %30-45 aralığındadır. Bu oran agrega çimento hamuru arasında kimyasal bağlanmada etkilidir. Gebze Bölgesi’nden temin edilen dere kumu SiO₂ ağırlıklı olup bu tip bağ yapmamaktadır (Dikme, 2010).

Çizelge 5. Agregaların kimyasal analizi sonuçları

Oksit (%)	DK	KK	KTI	KTII
SiO ₂	61.73	12.97	21.48	15.72
Al ₂ O ₃	4.98	3.85	6.45	4.89
TiO ₂	0.37	0.28	0.39	0.33
Fe ₂ O ₃	0.42	1.95	3.04	2.19
CaO	0.29	44.30	32.66	40.33
MgO	0.25	1.52	1.64	1.88
K ₂ O	1.78	2.38	2.06	2.07
Na ₂ O	0.03	0.13	0.20	0.15
Cr ₂ O ₃	0.03	0.01	0.02	0.01
ZrO ₂	0.03	0.02	0.02	0.02
P ₂ O ₅	0.06	2.49	1.86	2.26
SO ₃	0.04	0.09	0.16	0.13

2.2. Beton örneklerinin kimyasal analizi: Beton karışımları TS-802 (2009) standardına göre sektörde kullanılan 6 beton sınıfında TS-EN-206 standardına göre hazırlanmıştır.

Hazırlanan betonların; kıvam, dayanıklılık, işlenebilirlik ve hacim sabitliği özellikleri göz önünde bulundurularak çimento-su-agrega

karışımı hazırlanmıştır. Çizelge 6'da hazırlanan karışımların içerisinde bulunan agrega oranları verilmiştir.

Çizelge 6. Hazırlanan beton örneklerinin karışım oranları

Agrega	Beton serileri karışım oranları (%)					
	NB-40	BB-40	NB-50	BB-50	NB-60	BB-60
DK	15.10	16.80	15.80	17.10	17.10	19.00
KK	31.90	29.20	29.50	28.20	24.20	23.00
KTI	20.60	54.00	20.70	54.70	21.60	58.00
KTII	32.40	-	34.00	-	37.10	-

Hazırlanan beton karışımlarının içerdiği oksitleri ve oranlarını gösteren kimyasal analiz sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir. Beton örneklerinde agrega-çimento ara yüzeyindeki reaksiyonlar ve ara yüzeyde oluşan fazlara bağlı olarak basınç dayanımı artar. Ayrıca, beton dökümü esnasında agregaların boşluk bırakmadan yerleşmeleri sonucunda artan tane-tane etkileşiminin

yüksek olması da beton dayanımını etkiler. Çimento-agrega-su etkileşiminin yüksek olmasında hazırlanan beton karışımının kimyasal oksit içeriği önemlidir. Beton karışımında bulunan oksitlerin bulunma şekline bağlı olarak ara yüzeylerde oluşacak reaksiyonlarla ortaya çıkan fazların oluşma oranı da oksit içeriğine bağlı değişmektedir.

Çizelge 7. Hazırlanan beton karışımların oksit içeriği

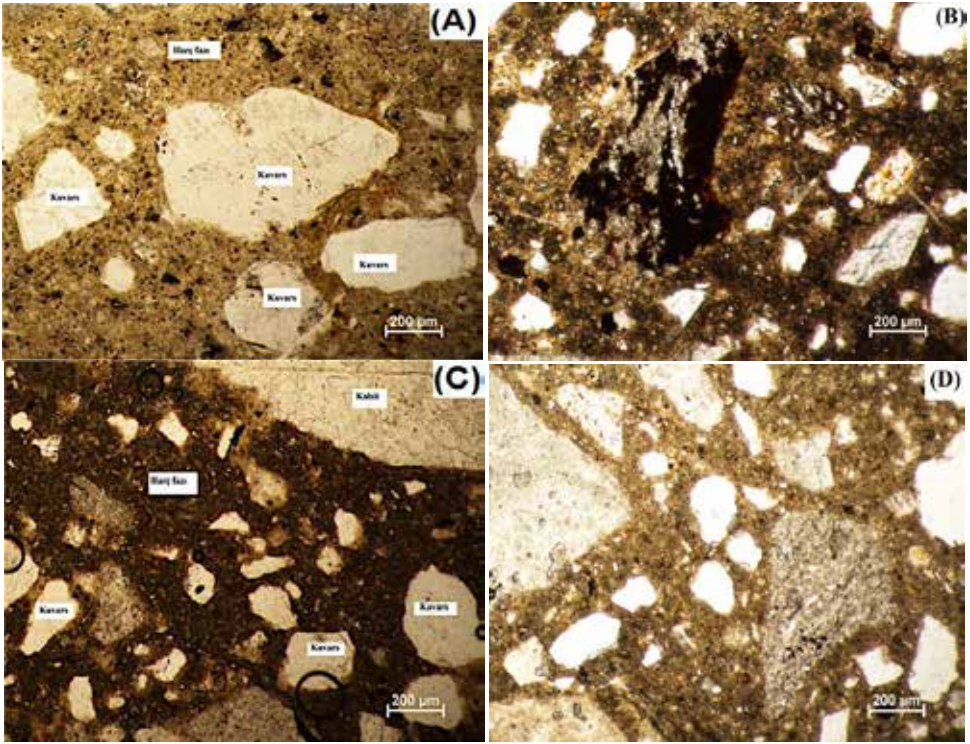
Oksitler (%)	Beton örnekleri					
	NB-40	BB-40	NB-50	BB-50	NB-60	BB-60
SiO ₂	24.48	27.26	25.01	27.60	25.9	28.96
Al ₂ O ₃	5.26	5.80	5.32	5.86	5.42	5.99
TiO ₂	0.35	0.37	0.35	0.38	0.35	0.38
Fe ₂ O ₃	2.25	2.51	2.27	2.54	2.28	2.56
CaO	38.82	35.48	38.79	35.71	38.529	34.93
MgO	1.63	1.54	1.65	1.55	1.657	2.79
K ₂ O	2.34	2.32	2.35	2.34	2.348	2.34
Na ₂ O	0.15	0.17	0.15	0.17	0.153	0.17
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02	0.02	0.017	0.02
ZrO ₂	0.02	0.02	0.02	0.03	0.023	0.02
P ₂ O ₅	2.19	2.01	2.19	2.03	2.173	1.98
SO ₃	0.16	0.17	0.16	0.17	0.168	0.18

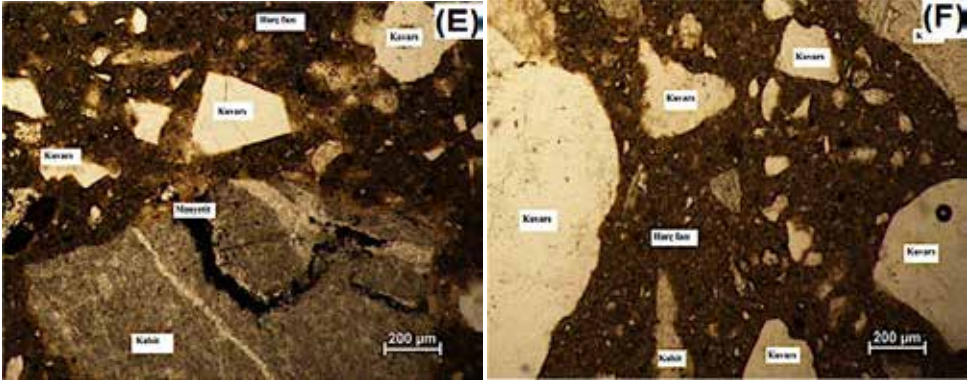
2.3. Beton örneklerin ince kesit analizi: Hazırlanan beton örneklerinin ince kesit örneklerinin mikroskop görüntülerinde agrega etrafını saran matrixle ara yüzeyde ince şerit halinde reaksiyonla oluşan fazların

olduğu belirlenmiştir (Şekil 1). Büyük parçacıkların büyük çoğunluğu kalsit ve kuvars minerallerinden oluşmaktadır. Kuvars tanelerinin kenarları keskin köşeli ve girintili olurken kalsit tanelerinin kenarları ovalimsi

ve keskin köşeleri olmadığı belirlenmiştir. Bunun nedeni ise kuvarın sert olması nedeniyle kırılma yüzeyleri köşeli olurken kalsitin daha yumuşak olması sonucu daha kırılğan olduğu için oval kenar oluşmaktadır. Beton örneklerinin ince kesit görüntüleri Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de beton örneklerinin ince kesit görüntüleri; NB-40 (A), BB-40 (B), NB-50 (C), BB-50 (D), NB-

60 (E), BB-60 (F) olarak verilmiştir. Her beton örneğinin ince kesit görüntüsünde içerdikleri mineral taneleri ve agrega-çimento arasında oluşan harç fazlarının isimleri üzerlerine yazılarak gösterilmiştir. Bu görüntülerle betonun genel yapısı, agrega boyut, şekil ve dağılımı hakkında fikir edinilebilmektedir.





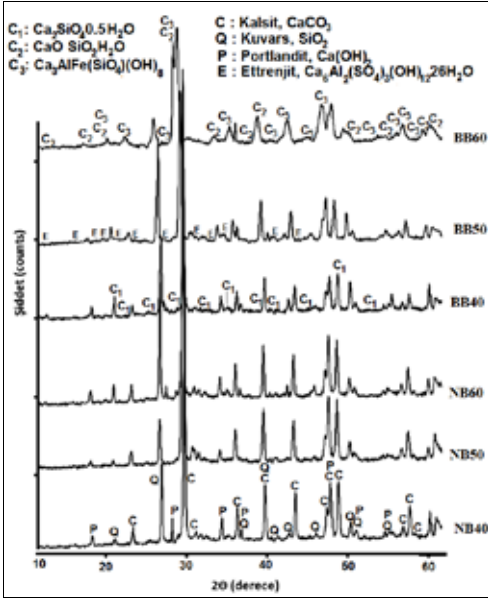
Şekil 1. Beton örneklerinin ince kesit görüntüleri

2.4. Beton örneklerin faz analizi: Beton örneklerinin içerdiği mineral ve fazları gösteren X-ışınları şiddet/2 θ grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Beton örneklerinin tümünde ana mineral olarak kalsit (CaCO_3), kuvars (SiO_2) içeriği belirlenmiştir. Kalsit pik şiddeti BB50 ve BB60 beton örneklerinde diğerlerine göre daha düşük olmuştur. Feldspat piklerinin ise NB40, BB40 ve BB60 beton örneklerinde daha düşük şiddette olduğu tespit edilmiştir. BB60 beton örneğinde 29 derecede olan pik portlandit mineralinin oluştuğunu göstermektedir. Portlandit mineralinin bu derecedeki fazı diğer beton örneklerinde oluşmamıştır. Buda çimento-agrega oranına bağlı olarak ara yüzeylerde oluşan reaksiyonla portlandit minerali oluşmasını sağlamakta, tane-tane etkileşimi ve temas eden yüzey alanının daha fazla olmasıyla reaksiyonların artarak beton özelliklerinde olumlu etkisi olduğunu göstermektedir. Beton içerisinde oluşacak plaka ve iğnemiş şekilli kristallerde betonun mekanik özelliklerinde olumlu etkisi olmaktadır. Ayrıca beton içerisinde C_3S ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ve C_2S ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) silikat kristalleri de mukavemet değerlerini artırmaktadır.

oluşturulması istenen fazların tane yüzeylerinde geliştirilmesi ile beton özelliklerinin geliştirilebilmesi mümkün olacaktır. Uygun oranlarda hazırlanan agrega-çimento karışımının süreye bağlı olarak priz alması ve mekanik özelliklerinin artışında su oranının da karışıma uygun kullanılması gerekmektedir. Yetersiz su ilave edildiğinde geliştirilmesi beklenen fazların agrega-çimento arasındaki reaksiyon oluşumunun yavaşlaması veya durması ile sonuçlanacağından, betonun mekanik özelliklerinde de gelişme olmayacaktır.

Normal beton örneklerinde kuvars, kalsit ve portlandit mineralleri bulunurken brüt beton örneklerinde bu yapılar değişmektedir. BB40 örneğinde kuvars, kalsit ve portlandit mineralleri yanında $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ yapısı da bulunurken, BB50 örneğinde ayrıca $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ (Ettrenjit) yapısı da bulunmaktadır. BB 60 beton örnekleri incelendiğinde ise CaO , $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ve $\text{Ca}_3\text{AlFe}(\text{SiO}_4)(\text{OH})_8$ yapılarının yoğun şekilde bulunduğu görülmektedir.

Agrega ile çimento karışım oranlarının uygun değerleri belirlenerek, uygun oranlarda karışım hazırlanması ve



Şekil 2. Beton örneklerin XRD şiddet/2θ grafiği (Aşağıdan yukarı NB40, NB50, NB60, BB40, BB50 ve BB60 kodlu beton örnekleri)

2.5. Isıl özellikler: Farklı sıcaklık değerlerine sahip sistemlerin birbiri arasındaki enerji geçişi ısı olarak tanımlanır. Beton malzemelerde ısı iletimi betonda kullanılan agreganın türüne ve içerdiği nem oranına, poroziteye bağlı olarak değişmektedir. Betonda istenilen ısı iletim değerleri 1.0-3.6 W/mK aralığında olmalıdır. Bu değer çimento hamurunda 1.1-1.6 W/mK aralığındadır. Betonda kullanılan pek çok agreganın ısı iletim değeri çimentoya göre çok daha fazla olmaktadır. Isı iletim aralığı agreganın hacmi artışıyla değişmektedir. Agreganın hacmi ne kadar fazlaysa betonun ısı iletimi o kadar yüksek olmaktadır (Bazant vd., 1996).

Beton örneklerinin ölçülen ısı iletkenliği ve ısı kapasitesi değerleri Çizelge 8'da verilmiştir. Brüt beton örneklerinde ısı iletkenlik değerleri normal beton örneklerine göre daha düşük olmaktadır. Agreganın yüzeyinin artmasına bağlı olarak bu artan yüzeyin kaplanmasında kullanılacak çimento hamurunun daha fazla oranda artması

nedeniyle ısı iletkenlik değerleri azalmaktadır. Agreganın türü olarak kullanılan kalsit ve kumtaşının ısı iletim katsayısı çimento hamuruna göre daha yüksek olmaktadır. Isı iletim değerlerini etkileyen parametreler; agreganın türü ve kullanım oranının yanı sıra nem oranı da etkilidir. Nem oranı arttıkça ısı iletimi artmaktadır.

Hava, 0.0034 W/mK'lık ısı iletim katsayısına sahipken, suda bu değer 0.515 W/mK olmaktadır. Hava ve suyun sahip olduğu ısı iletim özelliğine bağlı olarak beton kuru olduğunda ve nem içermediğinde ısı iletimi azalmaktadır. Ayrıca, çimento hamuru açısından incelendiğinde, büzülme ve mikro çatlaklarla birlikte artan boşluk oranıyla ısı iletimi azalmaktadır (Bazant vd., 1996). Farklı beton örneklerinin ısı iletim sonuçlarına göre, beton sınıfı düştükçe beton bünyesinde artan çatlak, boşluk vb. sebepler nedeniyle ısı iletimi azalmaktadır. NB40 beton örneğinde ısı iletkenliği 1.28 olurken, NB60 örneğinde 1.42 değeriyle ısı iletimi artmıştır. Suyun ısı kapasitesi (4.186J/gr.K) diğer maddelere kıyasla yüksektir. Yaz-kış, gece-gündüz arası sıcaklık değişikliklerinin de çok büyük aralıkta olmaması suyun etkisiyle olmaktadır. Farklı beton türlerine bu açıdan baktığımızda ısı kapasitesi değeri suya göre oldukça düşüktür. Beton sınıfı artışıyla ısı kapasitesi önemli ölçüde düşmektedir. Örneğin BB60 beton örneğinin ısı kapasitesi NB40 örneğine göre %42 daha düşüktür. Yani beton çok daha kolay ısınmaktadır. Beton sınıfı arttıkça içerisinde daha küçük agreganın kullanılan beton örneklerinde ısı iletimi azalmakta ve ısı kapasitesinde azalma gözlenmektedir.

Isı iletkenlik değeri en yüksek olan beton örneği 1.42 değeriyle NB60 olurken, en düşük ısı iletimi 1.06 değeriyle BB40 örneğinde olmuştur. Isıl özelliklerde sadece ısı dağılımı beton sınıflarında periyodik değişim göstermiştir. NB40 beton örneklerinde 0.776 mm²/sn. ısı dağılım hızı olurken NB60 beton örneğine doğru dağılım

hızı artış göstermiş ve $0.909 \text{ mm}^2/\text{sn}$ bulunmuştur. En yüksek ısı dağılım hızı $1,46 \text{ mm}^2/\text{sn}$ ile BB60 beton örneğinde, en düşük ise BB40 beton örneğinde $0,673 \text{ mm}^2/\text{sn}$ tespit edilmiştir. En yüksek ısı kapasitesi NB50 beton örneklerinde, en düşük ise NB60 beton örneklerinde belirlenmiştir.

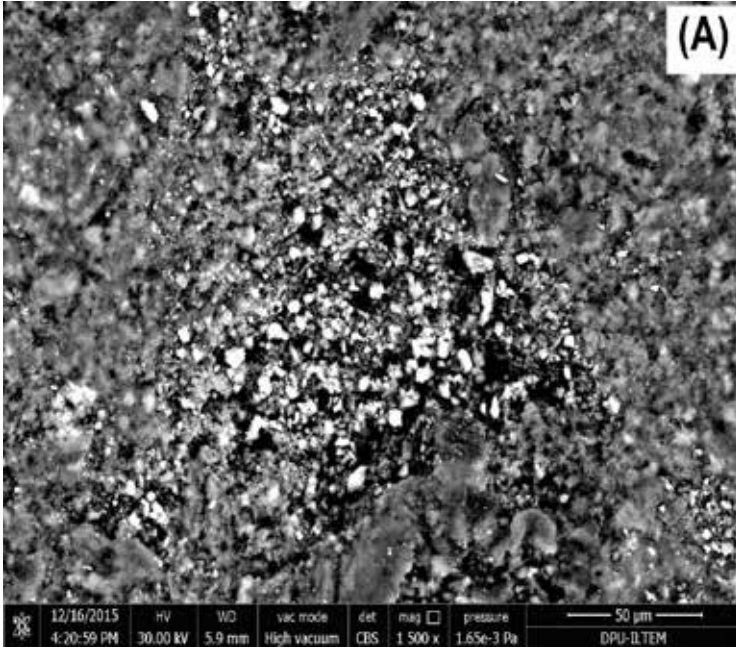
Çizelge 8. Beton örneklerin ısı iletimi

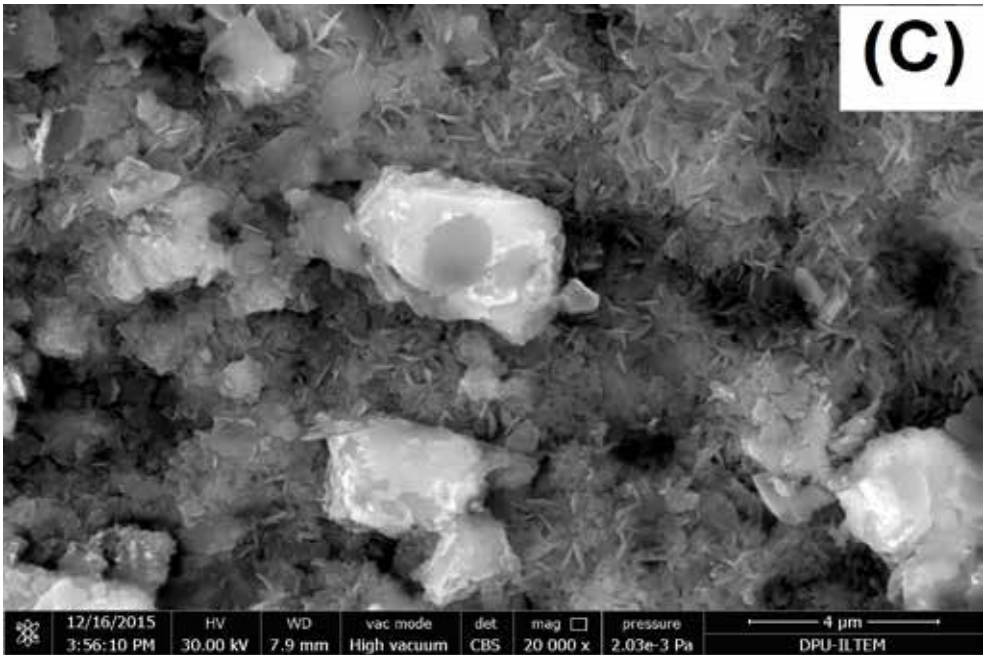
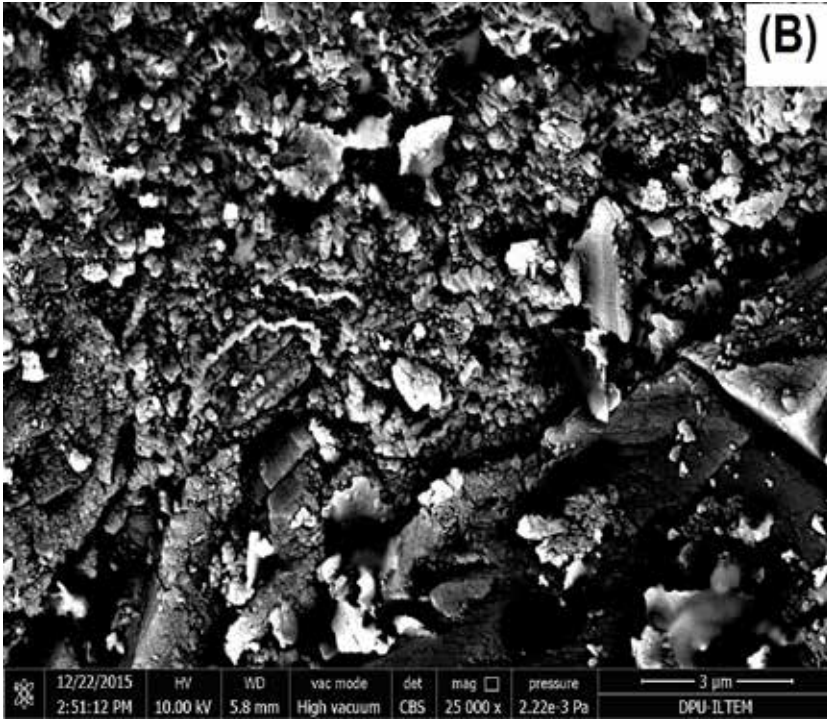
Beton türü	Isıl İletkenlik W/mK	Isı Kapasitesi (J/grK)
C 30	1.28	0.69
C 30 Brüt	1.06	0.68
C 35	1.38	0.71
C 35 Brüt	1.19	0.72
C 40	1.42	0.51
C 40 Brüt	1.16	0.40

2.6. Mikro yapı analizleri: Beton örnekleri arasından seçilen NB40 ve NB60 beton örneklerinin mikro yapı görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. Beton örneklerinde çimento-agrega ara yüzeyinde oluşan reaksiyonlarla şekillenen kristaller ve tanelerin birbirine bağlanması ile oluşan aglomera olmuş taneler, boşluklar görülmektedir.

3 SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Farklı boyutta farklı agregalarla hazırlanan beton örneklerinde kimyasal olarak oksit içeriği; %24-29 oranlarında SiO_2 , %35-39 oranlarında CaO olarak belirlenmiştir. Bu oranlarda CaO ve SiO_2 içeren betonda oluşacak reaksiyonlarla C_3S ve C_2S oluşumunun sağlanması ile beton mekanik özelliklerinin gelişmesinde etkili olacaktır. Beton örneklerinin mineralojik içeriğinde kalsit, kuvars ve çimento-agrega arasında oluşan fazlar olarak belirlenmiştir.





Şekil 3. NB40 (a),BB60 (b), BB40 (c) beton örneklerinin mikro yapı görüntüleri

İnce kesit örneklerinde parçacıklar halinde kalsit, kuvars mineralleri belirgin gözlenirken, çimento oranı artan betonlarda agregalar arasında daha fazla bağlayıcı matriks görevi gören harç fazı belirlenmiştir.

Beton içerisinde kuvars taneleri keskin köşeli, girintili kenarlarıyla, kalsit tanelerinin ise kenarları ovalimsi ve yuvarlak köşelere sahip olduğu belirgin gözlenmiştir. Kuvarsın sertliğinin yüksek olması nedeniyle kırılma yüzeyleri köşeli olurken kalsitin sertliği düşük olduğu için oval kenarları oluşmuştur.

Brüt beton örneklerinin ısı iletkenlik değerleri normal beton örneklerine göre düşüktür. Artan agrega yüzeyi ile agreganın çimento hamuru ile kaplanmasında daha fazla harç fazı gerekmesi, daha fazla matriks nedeniyle ısı iletkenlik azalmaktadır. Beton sınıfı düştükçe beton bünyesinde meydana gelen çatlak ve boşluklar nedeniyle ısı iletimi azalmaktadır. En yüksek ısı iletkenlik 1.42 değeriyle NB60 örneğinde, en düşük ısı iletimi 1.06 ile BB40 örneğinde belirlenmiştir.

En yüksek ısı kapasitesi NB50 beton örneğinde, en düşük NB60 beton örneğinde belirlenmiştir. Agrega türü ve boyutu beton özellikleriyle birlikte ısı iletimde de etkilidir.

Beton örneklerinde çimento-agrega arasında oluşan kristaller ve tanelerin birbirine bağlanmasıyla birbirine yapışmış taneler ve boşlukların oluşumu çimento oranıyla artmaktadır.

Agrega-çimento karışım oranlarının belirlenmesi, uygun oranlarda karışım hazırlanmasıyla bünyede oluşturulması istenen fazların artırılması sağlandığında beton kalitesinin daha fazla geliştirilebilmesi mümkün olacaktır.

Yapılan çalışmalarla kazanılan tecrübelerle göre daha sonrasında detaylı çalışma yapılması için öneriler aşağıda verilmiştir.

✓ Sektörde kullanılan beton türlerinin ısı iletim değerlerinin üretilen örneklerle kıyaslaması yapılmalıdır.

- ✓ Agrega ve betonun ısı özelliklerinin oluşan fazlarla ve faz oranlarıyla değişimi daha ayrıntılı incelenmelidir.
- ✓ Beton dökümünde oluşabilecek boşluklu-boşluksuz yapının ısı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmalıdır.
- ✓ Farklı beton sınıflarının ses iletim davranışları araştırılmalıdır.
- ✓ Tane-tane etkileşimiyle ara yüzeyde gelişen fazların atomik ve kristal boyutunda yönlendirmeleri incelenmelidir.

KAYNAKLAR

- Aruntaş, H.Y., Dayı, M., Tekin, İ., Birgül, R., Şimşek, O., 2007. Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Semp., Ankara, 173-180.
- Bazant, Z.P., Kaplan, M.F., 1996. Concrete at High Temperatures. Longman Group Limited, London.
- Dikme, D., 2010. Doğal sülfat içeriği yüksek olan kumlarla üretilen harçlarda sülfat etkisinin incelenmesi ve mineral katkıların etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., 2006. Concrete, Microstructure, Properties and Materials. McGraw-Hill Companies, Inc., Third Edition, New York, 486.
- Özgan, Ö., 2007. Düzce Yöresi Agregaların Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yapı Eğitim ABD, Düzce.
- Şimşek, O., Sancak, E., Yaprak, H., 2005. Beton Yollarda Alternatif Bir Malzeme: Vakumlu Beton, 4. Uluslararası İleri Teknoloji Semp., Konya, 1132-1137.
- TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-1, 2012. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane

- büyüküğünün dağılımı tayini-Eleme metodu.
- TS EN 1097-6, 2013. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini.
- TS 802, 2009. Beton karışım tasarım hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206, 2014. Beton-Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkiye Hazır Beton Birliği İnternet Sitesi
www.thbb.org
- Uğurlu, A., 1999. Agreg-a-Çimento hamuru bağı üzerine, 2.Ulusal Kırmataş Semp.
www.thbb.org

Renkli Agregalarla Üretilen Harçların Mekanik, Fiziksel ve Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Mechanical, Physical and Durability Properties of Mortars Produced with Colored Aggregates

A. Demir

Dumlupınar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Betonun yaklaşık üçte ikisini oluşturan agregalar, betonun özellikleri üzerinde büyük bir öneme sahiptir. Agregalar beton yapımında, çimento ve su karışımından oluşan çimento hamuruyla bir araya getirilen, kum, çakıl, kırmataş gibi doğal ve yüksek fırın cürufu gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemelerdir. Özellikle kırmataşlar, köşeli yüzey şekilleri sayesinde çimento hamuru ile aderansı arttırmaları gibi olumlu özelliklerinden dolayı betonda kullanımları oldukça yaygınlaşmıştır. Agregaların betonda kullanılabilmesi için belirli fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip olması gerekmektedir.

Bu çalışmada, renkli agregalar ve CEN Standart Kumu kullanılarak beş farklı harç serileri üretilmiştir. Harç üretiminden önce, renkli agregaların birim ağırlık, özgül ağırlık ve metilen mavisi gibi bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Üretilen harçlar üzerinde beton dayanım ve dayanıklılığı hakkında fikir edinebilmek için fiziksel, mekanik ve alkali agrega reaksiyonu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar her seri için ilgili standarda göre değerlendirilmiş ve seriler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen verilere göre, incelenen renkli agregaların, günümüzde beton üretiminde kullanılmaları ekonomik olmamasına karşın, normal ve renkli beton üretiminde kullanılabileceği saptanmıştır.

ABSTRACT Aggregates that consist of two-thirds of concrete has an important role on the properties of concrete. Aggregates, natural sourced as sand, gravel, crushed stone or artificial sourced as granulate blast furnace slag, are a granulated material that mixed with cement paste formed cement and water for production of concrete. Especially, crushed stones by force of angular shape are considerably used in the production of concrete because of increase the adhesive with cement. Aggregates should have definite physical, chemical and mechanical properties for using in concrete.

In this study, the five different mortar series were produced by using the colored aggregates and CEN Standard sand. Before the mortar production, physical properties such as unit weight, specific gravity and methylene blue value of colored aggregates were determined. The physical mechanical and alkali aggregate reaction tests were carried out on the produced mortars in order to get an idea for the strength and durability of concrete. Obtained results were evaluated based on concerned standards and compared among them. According to the results obtained; the evaluation of colored aggregate, in spite of using colored aggregates as aggregates in concrete is not economic today, the colored aggregates can be used in normal and colored concrete.

1 GİRİŞ

Günümüzde beton inşaat malzemesi olarak önemli bir yer tutmaktadır. Beton, mineral

kökenli taneli malzemenin bir bağlayıcı ile birleştirilmesi ile üretilen yapay bir taşdır. Betonda bağlayıcı olarak seçilen malzeme çimento, taneli malzeme ise agregadır. Tüm

betonlarda aranan üç ana nitelik taze halde işlenebilme, sertleşmiş halde mekanik dağılım ve dış koşullara karşı dayanıklılıktır.

Agrega beton yapımında, çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımıyla bir araya getirilen, organik olmayan kum, çakıl kırma taş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, geliştirilmiş perlit, geliştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemedir. Betonda agreganın kullanılması, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemekte veya azalmakta, çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını arttırmakta ve kendi dayanımının yüksek olmasından dolayı betonun gerekli dayanımının sağlanmasına yardımcı olabilmektedir. Beton hacminin % 60-80'ini agreganın bileşeni meydana getirdiği için, seçiminde titizlik gösterilmesi gerekmektedir (Erdoğan, 2010).

Beton kalitesi günümüzde büyük önem taşımakta, kalıcılığı sağlamak için daha kaliteli betonlar yapılmaya çalışılmaktadır. Yaklaşık olarak 1 m³ beton % 10 çimento, % 70 agreganın, % 20 sudan oluşmasına bağlı olarak; betonda çoğunluğu oluşturan agregalarda kalite bakımından belirleyici deneylerin önemi artmıştır. Beton üretiminde kullanılan agregalarda yapılan kontroller; granülometri, su emme, özgül ağırlık ve 0.063 mm elekten geçen ince malzeme miktarı olmaktadır. İnce agregalardaki humuslu ve organik maddeler ince olarak dağılırken betonun sertleşmesine ve basınç dayanımına zarar vermekte, taneli haldeyse renk değişmesine veya şişerek betonun yüzeyinde patlamalara neden olmaktadır. Kum, parçalanmış agreganın içinde bulunan agreganın taneciklerinde tipik astarlar olarak ya da karışımda dolgu olarak bulunan en ince malzeme büyüklüğünü tanımlar (Nehdi, 2014). Kum ve kilin arasında önemli ayrım şudur; jeolojik olaylara bağlı olarak ve sonradan olma işlemlerden geçirilmesine bağlı olarak farklı tiplerde killer bulunur. Her farklı kilin karakteristik özellikleri beton üzerinde farklı özelliklerin ortaya çıkmasında etkilidir. Daha az miktarlarda bulunan diğer killer, agreganın üzerinde önemli hasarlara neden olurken, kilin bazı tipleri performans etkisi bulunmaz (Nehdi, 2014).

Zararlı killerin nemin etkilerine karşı hassastır, örneğin su emebilirler ve kabarırlar, genişleme ve büzülme işleminin tekrarlanması ile agreganın tanelerinin parçalanmasına neden olurlar. Kil içerisindeki suyun büyük bir kısmı gözenek suyunu serbest bırakmaz fakat kil minerallerinin kafesinde içerirler ve yüzeylerinde tutarlar. Kil mineralleri doğal agregaların ince olarak sınıflandırılmış kısımlarında (0.063 mm) bulunabilmektedir. Aşırı miktarda kil içeriği beton ve harçlarda zarar verici etkiler yaratmaktadır. İnce agreganın oranının çok düşük olmasına rağmen metilen mavisi deney sonuçlarının yüksek değerlerde çıktığı ve betonun basınç dayanımının olumsuz etkilendiği görülmüştür. İnce agregaların, ince malzeme yüzdesi düşük olmasına rağmen, bünyesinde kil kökenli malzeme içerebilmesi, metilen mavisi değerini arttırmakta ve betonun basınç dayanımını düşürebilmektedir. Agreganın içeriğindeki ince malzeme miktarından çok, bu ince maddelerin özelliği önem taşımaktadır (Topçu ve Demir, 2008).

Kil kökenli malzeme miktarı metilen mavisi değerini arttırmaktadır. Katyon değiştirme yeteneğine sahip olan kil mineralleri sulu çözeltilerinden metilen mavisini soğurabilirler. Killerin bu boyayı aktif yüzeylerine alabilme yeteneği, katyon değiştirme kapasitesi ile yüzey alanının ölçülmesi ve kil minerallerin varlığının ortaya çıkarılması için yapılan test yöntemlerinin temelini oluşturur. Metilen mavisi deneyi de bu gerçeğe dayanır. Kili ortaya çıkarmak için kullanılan en basit yöntemlerden birisi metilen mavisi deneyidir. Bu yöntem 1940'lardan beri kullanılmaktadır ve birçok şekilde geliştirilmiştir. Metilen mavisi değerinin 63 µm elek altı malzeme yüzdesinden bağımsız olarak değiştiği görülmüş, farklı özelliklere sahip agregaların kullanılmasıyla üretilen beton numunelerinin deney sonuçlarıyla ilişkilendirilmiştir.

Agrega, gereken dayanıma sahip olmalı ve dış etkilere dayanabilmelidir. Agreganın fiziki ve mekanik özellikleri istenilen koşulları karşılayabilecek nitelikte olmalıdır. Don yapan iklimlerde kullanılacak beton

agregası dayanıklılık bakımından don etkisi için standartları karşılamalıdır. Ayrıca betonda görülen dayanıklılık problemlerinden bir tanesi de alkali agrega reaksiyonudur. Alkali agrega reaksiyonunda başrollerden bir tanesi agregalar üzerinde yer alan aktif silisin bulunup bulunmadığıdır. Alkali agrega reaksiyonu beton agregasında bulunan reaktif silisin beton içerisindeki nemi bünyesine alarak uzun yıllar sonra ortaya çıkan bir reaksiyondur. Bu reaksiyon sonucu betonun içerisinde jelleşen silis betonda çatlamalara, çekme ve eğilmede çekme dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Bu yüzden alkali agrega reaksiyonu beton endüstrisinde son yıllarda önemli bir araştırma konusu olmuştur (Cota vd.,2015)

Agreganın beton yapımında ekonomik ve teknik yönden çok önemli bir konumu vardır. Agreganın maliyeti çimentoya göre oldukça düşük olduğundan, agrega betonda kullanılan ve oldukça ucuz olan bir dolgu malzemesi olarak kabul edilmektedir. Bazı durumlarda yapının iç mekânlarında da görünen beton kullanılmaktadır. Mimari betona pigmentler katılarak renk ve doku vermek mümkündür. Renkli beton üretiminde normal bir betondan beklenen işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık özellikleri yanında estetik kaygılar da önemlidir. Renkli betonlarda, kullanılan pigmentlerin çimentonun prizine etkisi, renk sabitliği, ortam koşullarına dayanıklılığı, mekanik özelliklere etkisi, ısıya dayanıklılık ve suda çözünür tuz miktarı gibi özellikler önem kazanmaktadır. Bu sayılan özelliklerin kontrol edilmesi yanında başarılı bir renkli beton uygulaması için kullanılan kalıp sistemi ve kalıp ayırıcıların önemi de göz ardı edilmemelidir.

2 AMAÇ

Bu çalışmada, Altınaylar Yapı-Mikronize-Dekorasyon San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından elde edilen dört farklı renkli agreganın birim ağırlıkları, özgül ağırlıkları, metilen mavisi değerleri ile bu renkli agregalar ile hazırlanan harç numunelerinin fiziksel, mekanik ve alkali agrega reaksiyonu özelliklerini belirlemek için deneyler

gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre renkli agregaların beton ve harç üretiminde kullanılabilirliğinin yanında aralarında ideal olarak kabul edilen CEN Standart Kumuna en yakın özelliklere sahip renkli agreganın hangisi olduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece renkli beton uygulamalarında bağlayıcı hamur içerisine renk pigmenti katmak yerine renkli agrega kullanarak pigment kullanımından doğacak problemlerin önüne geçmekte bir diğer amaç olarak belirlenmiştir.

3 DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışma, renkli agregaların birim ağırlıkları, özgül ağırlıkları, su emme, metilen mavisinin belirlendiği agrega fiziksel deneyleri, renkli harç numune üretimi, üretilen renkli harçların fiziksel, mekanik deneyleri ve alkali agrega reaksiyonunun belirlendiği durabilite deneyleri olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

3.1 Kullanılan Malzemeler

Çalışmada ÇİMSA Afyon Çimento Fabrikası üretimi olan CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait kimyasal özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Karışım suyu olarak sülfat içeriği 5.8 mg/l, sertliği 3.9 mg/l ve pH 6.3 olan Kütahya şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Oluşturulmak istenen harç serileri için kontrol serisi için CEN Standart Kumu kullanılmıştır.

Geriye kalan harç serileri için Altınaylar Yapı-Mikronize-Dekorasyon San. Ve Tic. Ltd. Şti. tarafından elde edilen ve tanımlamaları, 470 Kumu, 119 Kumu, 601 Kumu ve 110 Kumu simgesel harfleri ile yapılan renkli ince agregalar kullanılmıştır. Bu agregalara ait özellikler Çizelge 2’de yer almaktadır.

Bu çalışmamızda kullanacağımız renkli agregalar granül taşlardan elde edilmiştir. Mozaik, sıva, mineral sıva gibi isimlerle üretilen sıvaların ana dolgu malzemesidir. Doğal renkli olduğu için renk solması ve değişmesi olmamaktadır. Doğadan alınıp direkt işlenerek kullanılmaktadır.

Çizelge 1. Çimento Özellikleri

Özelik	CEM I 42.5 R
SiO ₂	20.74
Al ₂ O ₃	5.68
Fe ₂ O ₃	4.12
CaO	63.70
MgO	1.22
Na ₂ O	0.17
K ₂ O	0.53
SO ₃	2.29
Cl	0.019
Kızdırma kaybı (1000 °C)	1.34
Çözünmeyen Kalıntı	0.57
Serbest Kireç	1.29
Özgül ağırlık	3.14
Özgül yüzey, cm ² /gr	3450
28 Gün. Basınç Day. (MPa)	48.5

Çizelge 2. Renkli Agregaların Özellikleri

Özelik	470	119	601	110
Renk	Sarı	Gri	Pembe	Beyaz
Mohs Sertliği	4	4	3.5	3
CaO	29.72	55.68	54.91	41.62
MgO	21.05	0.60	0.43	12.63
SiO ₂	4.09	0.28	0.91	0.16

3.2. Üretim Yöntemi ve Yapılan Deneyler

Çalışmada harç üretimine geçmeden önce renkli agregaların birim ağırlık (TS EN 1097-3), özgül ağırlık, su emme (TS EN 1097-6) ve metilen mavisi değerleri belirlenmiştir. Bu fiziksel özelliklerin belirlenebilmesi için TS EN 196-1'de belirtilen CEN Standart Kumu ile aynı granülometri dağılıma sahip olacak şekilde renkli agregalarda öğütme ve eleme işlemleri uygulanmıştır. Metilen mavisi deneyine, metilen mavisi çözeltisi hazırlanmasıyla başlanır. Çözelti için 10 gr metilen mavisi tozu, behere konulan 500 ml damıtık 40 °C'deki suya ilave edilir. Toz çözününceye kadar karıştırılır ve 20 °C'ye kadar soğutulur. Beherdeki çözelti 1 lt'lik ölçülü balona boşaltılır. İçine 1 lt'ye tamamlamak için

damıtık su eklenir ve hafif renkli bir cam koruyucu şişesine boşaltılır. Metilen mavisi çözeltisi hazırlanmasından sonra leke deneyine geçilir. Süspansiyon oluşturmak için 500 ml damıtık suya, kurutulmuş deney numunesi kısmı (2 mm elekten geçen 200 gr kum) karıştırılarak ilave edilir. Süspansiyon 600 devir/dk hızda 5 dakika karıştırılır. Sonra 5 ml boya çözeltisi ilave edilip, 400 devir/dk ile devam edilir. Sonunda 1 dakika karıştırmanın ardından cam bağıt ile karışımdan 1 damla alınıp süzgeç kâğıdına bırakılır. Süzgeç kâğıdının yüzeyi herhangi bir katı veya sıvı ile temas etmeyecek şekilde boş bir beherin veya uygun bir desteğin üzerine yerleştirilmelidir. Tekrar 5 ml boya ilave edilip karıştırmaya devam edilir. Yine 1 dakika sonra bir damla süzgeç kâğıdına bırakılır. Merkezi mavi birikintiyi çevreleyen açık mavi halka oluşması beklenir. Aksi takdirde tekrar 5 ml boya eklenip aynı işleme devam edilir. Halka belirene kadar 1 dakika aralıklarla leke deneyine ve boya ilavesine devam edilir. Beşinci dakika sonunda 5 yerine 2 ml boya eklenerek devam edilir. Halka oluşması durumunda, 5 dakika süreyle varlığını koruyabilirse deney pozitif sayılır ve bitirilir. Halka oluşmasına kadar ilave edilen boya miktarı kaydedilir. Açık mavi renkli halka 8 mm ile 12 mm arasında çapa sahip birikintide, 1 mm kadar olmalıdır (TS EN 933-9+A1).

Bu çalışmada harç üretimi TS EN 196-1'e göre yapılmıştır. 40x40x160 mm boyutlarındaki üç deney prizmasına yetecek her seri karışım için 450±2 g CEM I 42,5 R, 1350±5 g agrega ve 225±1 g su hazırlanmıştır. Çimento, agrega, su ve cihazların laboratuvar ortam sıcaklığında olması sağlanmıştır.

Harç üretimi için TS EN 196-1 uygun çimento mikseri kullanılmıştır. Karışım 4 dakikalık bir mekanik karışım sonucu ortaya çıkmaktadır. Karıştırıcı çalışır durumda iken, karıştırma kabına su konulur ve çimento eklenir. Daha sonra karıştırıcı düşük hızda çalıştırılmaya başlanır ve 30 saniye sonra, agrega, 30 saniye içinde sürekli olarak karıştırıcıya ilave edilir. Karışımın tümü bir araya geldiğinde, karıştırıcı yüksek hızda ayarlanır. Karıştırmaya 30 saniye daha

devam edilir. Karıştırıcı, 1 dakika 30 saniye sonra durdurulur. İlk 15 saniye lastik sıyrıcı ile kabın çeperlerine ve tabanına yapışan harç sıyrılır ve kabın ortasına toplanır. Üstü ıslak bezle örtülerek 75 saniye beklenir. Karıştırmaya yüksek hızda 60 saniye daha devam edilir. Hazırlanan karışım 40x40x160mm boyutlarındaki kalıplara iki aşamada ve her aşaması sarsma tablasında 60 serbest düşme olacak şekilde doldurulur. Bu şekilde üretilen harç serileri son olarak harcın üstü düzeltilerek % 90 bağıl nem ortamında kalıp içerisinde iklimlendirme kabininde 24 saat bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan numuneler fiziksel ve mekanik deneyler için 7. , 28. ve 56. güne kadar 20±2 °C sıcaklıktaki kirece doygun suda saklanmış olup sonrasında fiziksel ve mekanik özellikler belirlenmiştir.

Renkli agregaların potansiyel alkali reaktivitesinin belirlenmesinde kür şartlarını ağırlaştırarak agregaların reaktivitesinin 16 gün içinde tespiti için verilen hızlandırılmış harç çubuğu metodu (ASTM C 1260) kullanılmıştır. ASTM C 1260'a (2007) göre 25x25x285 mm boyutlarında standart harç çubukları 0.47 s/ç oranında üretilmiştir. Üretilen harç çubukları neme doygun kür kabininde 24 saat süreyle şartlandırılmıştır. Daha sonra kalıplarından alınan numuneler 80±2°C sıcaklıkta hazırlanan su banyosuna yerleştirilerek 24 saat süreyle ikinci şartlandırmaya bırakılmıştır. Sıcak su banyosundan çıkarılan harç çubuklarının 0.001 mm hassasiyetli komparatörde sıfır okumaları yapılmıştır. Ancak bu okumanın harç numunesinin sıcak su banyosundan çıkarılmasından sonra 15 sn içerisinde yapılmasına dikkat etmek gerekmektedir. Aksi durumda soğuyan harç çubuğu termal büzülme yapacağından elde edilen boy değişim okumaları hatalı olabilecektir. Sıfır okumaları yapılan harç çubukları daha sonra ağırlıkça % 4 NaOH içeren 80 ± 2°C sıcaklıktaki çözelti banyosu içerisine konularak 14 gün süreyle saklanmıştır. Bu süreç içerisinde sırasıyla 4, 8 ve 14. günde komparatör okumaları yapılarak toplam 16 günlük deney periyodu tamamlanmıştır. Her bir renkli agrega harç numunesi için üretilen 3 adet harç

çubuğunun ortalama boy uzama değerleri yüzde cinsinden (1) ifadesi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta l = \frac{L_x - L_i}{L_g} \times 100 \quad (1)$$

Burada; $\Delta l = x$ yaşındaki % boy değişimi, $L_x = x$ yaşındaki harç çubuğunun komparatör okuması, $L_i =$ harç çubuğunun sıfır okuması $L_g =$ nominal ölçü boyu (285 mm) olarak tanımlanmıştır. Değerlendirme için toplam 16 günlük deney süreci sonunda % 0.10 veya daha az genleşme zararsız davranış olarak kabul edilir. Genleşme % 0.10 ile % 0.20 arasında ise potansiyel olarak hasara yol açabilecek genleşme varlığından söz edilebilir. Şayet genleşme % 0.20'nin üzerinde ise zararlı genleşme söz konusudur ve önlem alınmalıdır.

4 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Agregada Fiziksel Deney Sonuçları

Çalışmada kullanılan agregalara ait birim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde özgül ağırlık sonuçlarına göre tüm renkli agregalar normal agrega sınıfına girmektedir.

Çizelge 3. Agregada Fiziksel Deney Sonuçları

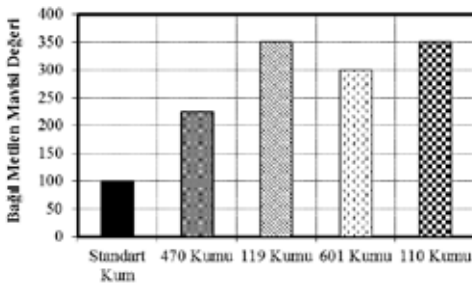
Renkli Agregada	Birim Ağırlık (g/cm ³)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Su Emme Oranı (%)
470 Kumu	1.328	2.65	0.5
119 Kumu	1.369	2.65	0.5
601 Kumu	1.325	2.64	0.2
110 Kumu	1.382	2.75	0.4

Renkli agregalarda metilen mavisi değerleri belirleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Aynı ince malzeme oranına sahip agregaların çok farklı metilen mavisi değeri verebildiği görülmüştür. Şekil 1'de çalışmada kullanılan 601 kumuna ait metilen mavisi sonucu süzgeç kağıdı gösterilmiştir. Diğer agregaların metilen mavisi değeri sonuçları CEN Standart Kumunu temsil eden Standart

Kum serisi referans alınarak yapılan hesaplamalarda elde edilen bağıl değerlendirme sonuçları Şekil 2’de gösterilmiştir. Serilerde metilen mavisi değerleri 0.1-0.350 ml/g arasında değişmektedir. Serilerin tümüne bakıldığında en yüksek metilen mavisi değeri referans serisine göre % 250 oranında artış ile 119 ve 110 Kumlarına aittir. Referans serisine göre en düşük değer % 125 artış ile 470 Kumunda görülmüştür. Serilerin metilen mavisi değerleri referans değeri ile karşılaştırıldığında büyük değişimler görülmektedir. Betonun davranışını öngörebilmek için renkli agreganın kalitesi hakkında fikir veren metilen mavisi deneyine gereksinim vardır. Agreganın ve dolayısı ile onunla birlikte üretilen betonun kalitesinin sürekliliğini güvence altına almak amacı ile sürekli kalite kontrol planlarında bu deneye yer vermekte yarar görülmektedir.



Şekil 1. 601 Kumunu metilen süzgeç kağıdı



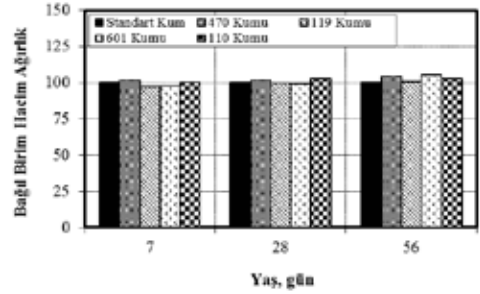
Şekil 2. Bağıl metilen mavisi değerleri

4.2 Fiziksel ve Mekanik Deney Sonuçları

TS EN 196-1’ e uygun hazırlanan harç numuneleri üzerinde 7., 28. ve 56 gün sonunda birim ağırlık, ultrases geçiş süresi, ağırlıkça su emme, kılcallık, eğilmede çekme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Harç

numunelerinin birim ağırlıkları, ultrases geçiş hızları, dinamik elastisite modülleri, ağırlıkça su emme oranları, kılcallık katsayıları, eğilmede çekme dayanımları ve basınç dayanımları hesaplanmıştır. Farklı kür süresinde yapılan değerlendirmelerde, Standart Kum serisinin her numune yaşı referans alınarak yapılan hesaplamalarda elde edilen bağıl değerlerin sonuçları açıklanmıştır.

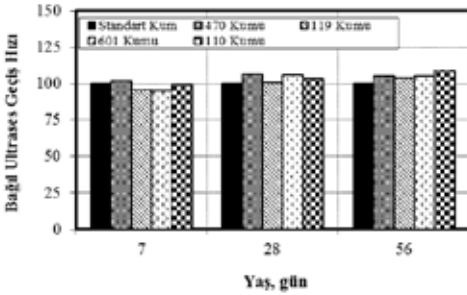
Şekil 3’te farklı renkli agregalardan üretilerek oluşturulan serilerin farklı yaşlardaki bağıl birim hacim ağırlık değişimi görülmektedir. Üretilen harç serilerinin birim hacim ağırlıkları 2.22-2.37 g/cm³ arasında değişmektedir. Standart Kum serisinin birim hacim ağırlıkları ise 2.25-2.3 g/cm³ arasında değişmektedir. Özellikle ilerleyen yaşlarda üretilen seriler kendi içlerinde değerlendirildiğinde birim hacim ağırlıklarında ortalama % 1.5 oranında artış görülmüştür. Ancak Standart Kum serisine göre birim hacim ağırlıklarındaki değişim incelendiğinde 119 ve 601 Kumunun 7. gün sonrası belirlenen birim hacim ağırlıklarında sırası ile % 3 ve % 2 oranında düşüş görülmüştür. 56. gün sonrası deney sonuçları incelendiğinde tüm serilerin birim hacim ağırlıkları Standart Kum serisinin üzerinde çıkmıştır.



Şekil 3. Bağıl birim hacim ağırlık değerleri

Ultrases geçiş süresi deneyinde geçiş süreleri 31.01 ile 37.03 μ s arasında ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre serilerin hesaplanmış bağıl ultrases geçiş hızları Şekil 4’te verilmiştir. Ultrases geçiş hızı değerleri ise 4.32-5.03 km/sn değerleri arasında değişim göstermektedir. 7, 28 ve 56. gün sonrası Standart Kum serisinin ultrases geçiş hızı

değerleri sırası ile 4.54, 4.55 ve 4.63 km/sn'dir. 7 ve 28. gün sürelerinde en yüksek ultrases geçiş hızı değerleri Standart Kum serisine göre sırası ile % 1 ile % 6 oranında artış ile 470 Kumu serisinden elde edilmiştir. 56. gün sonrası yapılan ölçümlerde en yüksek değer Standart Kum serisine göre % 8 oranında bir artış ile 110 Kumunda görülmüştür. 7. gün sonrası yapılan sonuçlar haricinde 28 ve 56. gün sonrası kür süreleri sonunda renkli agregalı serilerin ultrases geçiş hızı değerleri Standart Kum serisinin üzerinde hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin hepsi 4 km/sn'nin üzerinde olması kompozitenin iyi olduğu sonucunu ortaya koymuştur.



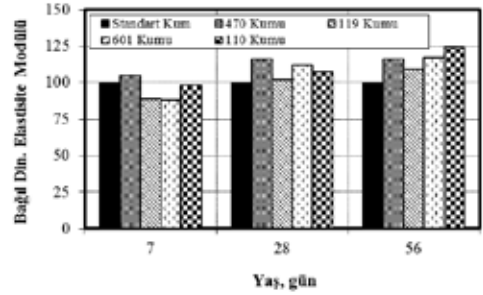
Şekil 4. Bağlı ultrases geçiş hızı değerleri

Şekil 5'te ultrases geçiş hızı ve birim hacim ağırlık sonuçları kullanılarak hesaplanan bağlı dinamik elastisite modülü değerleri yer almaktadır. Dinamik elastisite modülü (Edin) hesaplanırken Eşitlik(2)'den yararlanılmıştır.

$$Edin=10^5 \times V^2 \times \Delta / 9.81 \quad (2)$$

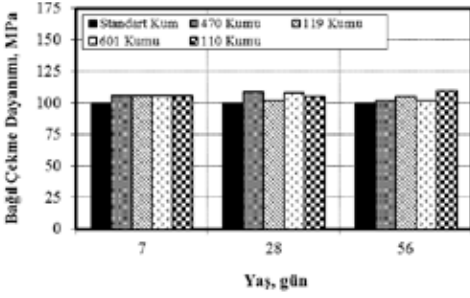
Eşitlik (2)'deki "v" ultrases geçiş hızı olup birimi km/sn, "Δ" birim hacim ağırlık iken birimi kg/lt, Edin'nin birimide GPa' dır (Postacıoğlu, 1986). Dinamik elastisite modülü değerleri 42.90-60.90 GPa arasında değişmektedir. Sonuçlar incelendiğinde 7. gün sonunda 470 Kumu serisinin dinamik elastisite modülü değeri Standart Kum serisinden % 5 oranında fazla çıkmıştır. 119, 601 ve 110 Kumu serilerinin dinamik elastisite modülü değerleri Standart Kum serisinden sırasıyla % 12, % 12 ve % 2 oranında daha az olduğu saptanmıştır. Diğer

kür sürelerinin sonunda hesaplanan dinamik elastisite modülü değerleri Standart Kum serisinden yüksek çıkmıştır. En büyük değişim % 24 oranında artış ile 56. gün sonrası 110 Kumu serisinde görülmüştür. Bunun nedeni çimento hamurunun agregaların arasındaki boşlukları daha iyi doldurmasıdır.



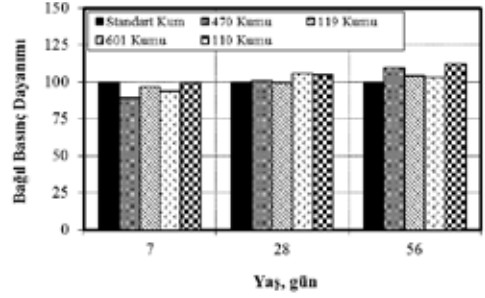
Şekil 5. Bağlı dinamik elastisite modülü Değerleri

Harç serileri üzerinde TS EN 196-1'e göre yapılan eğilme çekme deneyi sonuçlarından yararlanılarak hesaplanan çekme dayanımı sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir. Çekme dayanımı değerleri 7. gün sonunda 2.84-3.01 MPa arasında değişmektedir. 28. gün sonunda ise çekme dayanımı değerleri 3.04-3.29 MPa arasındadır. 56. gün sonunda ise çekme dayanımı değerleri 3.26-3.59 MPa arasındadır. Farklı kür sürelerinin sonunda renkli agregalı serilerin çekme dayanımları Standart Kum serisinden daha yüksek çıkmıştır. Kür sürelerinin sonunda hesaplanan renkli agrega serilerinin çekme dayanımları incelendiğinde Standart Kum serisine göre, 7. gün sonunda ortalama % 5 oranında, 28. gün sonunda 470 ve 601 Kumu serilerinde ortalama % 8, 110 Kumu serisinde % 4, 119 Kumu serisinde % 1 oranında, 56. gün sonunda en büyük artış % 10 olarak 110 Kumu serisinde saptanmıştır.



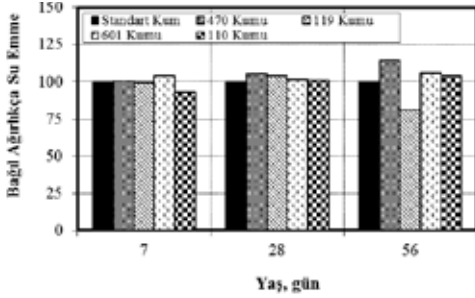
Şekil 6. Bağıl çekme dayanımı değerleri

Üretilen ince agregalı harç numunelerinin, farklı yaşlarda, bağıl basınç dayanımları Şekil 7'de verilmiştir. TS EN 196-1' e göre hesaplanan basınç dayanımları 31.60 ile 51.50 MPa arasındadır. Standart Kum serisinin 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanım değerleri sırası ile 35.5, 45.80 ve 45.90 MPa'dır. Standart Kum serisine göre diğer renkli agregalı serilerinin basınç dayanımları 28 ve 56. gün sonrası yüksek çıkmıştır. Sadece 7. gün sonrası 470, 119, 601 ve 110 Kumu serilerinin sırası ile % 11, % 4, % 7 ve % 1 oranında bir azalış ile Standart Kum serisinden daha düşük basınç dayanımlarına sahip olduğu görülmüştür. 28. gün sonrası basınç dayanımında en büyük artış Standart Kum serisine göre ortalama % 5 oranı ile 601 Kumu serisinde görülmüştür. Bu serileri sırası ile 470 Kumu % 1, 119 Kumu % 1 ve 110 Kumu serisi ise % 4 oranında bir artış ile takip etmektedir. Serilerin 28. gün sonrası dayanım değerleri 56. gün sonrası dayanımlarındaki artış kendi içinde değerlendirildiğinde en büyük artış % 10 oranı ile 470 ve 110 Kumu serisinde görülmüştür.

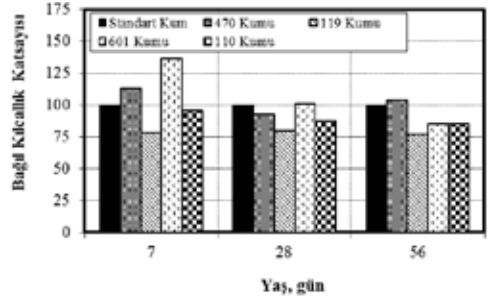


Şekil 7. Bağıl basınç dayanımı değerleri

Üretilen harç numunelerinin ağırlıkça su emme değerleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Seriler incelendiğinde farklı kür sonrası hesaplanan ağırlıkça su emme değerlerinde genel olarak çok büyük farklılıklar görülmemiştir. Ağırlıkça su emme değerleri % 4.48-8.30 arasında değişmektedir. 7. gün sonrası renkli agregalı serilerin ağırlıkça su emme değerleri incelendiğinde Standart Kum serisine göre 119 ve 110 Kumu serilerinde sırası ile %1, % 8 oranında düşüş görülürken, 470 Kumu serisinde herhangi değişimin olmadığı, 601 Kumu serisinde ise % 4 oranında bir artış saptanmıştır. 28. gün sonrası hesaplanan ağırlıkça su emme değerlerinde büyük farklılıklar görülmemiştir. Ancak renkli agregalı serilerin değerleri Standart Kum serisinden çok az farkla yüksek çıkmıştır. En büyük artış % 5 oranı ile yine 470 Kumu serisinde görülürken, en düşük azalış % 0.97 oranı ile 110 Kumu serisinde hesaplanmıştır. 56. gün sonrasında 119 Kumu serisinin ağırlıkça su emme değerinde Standart Kum serisine göre % 19'luk bir düşüş saptanmıştır. Diğer renkli agregalı serilerin ise ağırlıkça su emme değerlerinde artış görülmüştür. En büyük artış % 14 oranı ile 470 Kumu serisinde görülmüştür. Ağırlıkça su emme değerlerindeki artış fiziksel özelliklerin ön plana çıktığı durumlarda betonun geçirimsizliği ve beraberinde dayanıklılığı hakkında fikir edinmekte önemli bir özelliktir. Beklenen bu değerlerin fazla yüksek olmamasıdır.



Şekil 8. Bağıl ağırlıkça su emme değerleri



Şekil 9. Bağıl kılcallık katsayısı değerleri

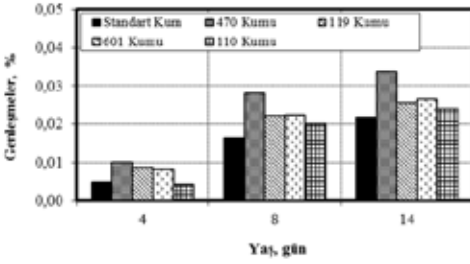
Harç numuneleri üzerinde yapılan kılcal su emme deneyi sonuçlarından elde edilen kılcallık katsayıları Şekil 9'da verilmiştir. Kılcallık katsayısı değerleri 3.91×10^{-6} ile 8.87×10^{-6} cm^2/s arasında değişmektedir. Standart Kum serisi referans alınarak yapılan değerlendirmelerde 7. gün sonrası sonuçlar incelendiğinde 470 ve 601 Kumu serisinin kılcallık katsayı değerleri Standart Kum serisinden sırası ile % 13 ve % 36 oranında fazla çıkmıştır. 119 ve 110 Kumu serilerinin kılcallık katsayı değerleri Standart Kum serisinden sırasıyla % 22 ve %15 oranında daha az olduğu saptanmıştır. 28. gün sonrası elde edilen kılcallık katsayılarında ise 601 Kumu serisinde % 1 oranında bir artış hesaplanmıştır. En büyük azalma % 20 oranı ile 119 Kumu serisinde olduğu görülmüştür. Kılcallık katsayılarında azalmaların 119 Kumu serisinden sonra sırası ile % 13 oranı ile 110 Kumu serisinde, % 7 oranı ile 470 Kumu serisinde olduğu görülmüştür. Farklı kür sürelerinin sonucusu olan 56. gün sonrası renkli agregalı serilerin kılcallık katsayıları değerlerinin 470 Kumu serisi hariç Standart Kum serisinden daha düşük olduğu saptanmıştır. 470 Kumu serisinde ise % 3 oranında bir artış görülmüştür. En büyük düşüş oranı 28. gün sonrasında olduğu gibi % 24 bir oranla 119 Kumu serisinde görülmüştür.

4.3 Durabilite Deney Sonucu

Portland çimentolarında ASR oluşabilmesi için gerekli olan eşdeğer alkali miktarı % 0.6 olarak ifade edilmektedir (ASTM C 150, 2009). Deneysel çalışmada kullanılan çimentonun eşdeğer alkali miktarı % 0.52 olarak belirlenmiştir. Hızlandırılmış harç çubuğu metoduna göre alkali agreg reaksiyonuna uğratılan Standart Kum, 470, 119, 601 ve 110 Kumu renkli agregalarının 14. gün sonunda ağırlaştırılmış kür koşullarından sonraki görüntüleri Şekil 10'da görülmektedir. Üretilen harç serilerine ait genleşmeler Şekil 11'de verilmektedir. Şekil 11'de görüldüğü gibi en büyük genleşme değeri 470 Kumu serisine aittir. Standart Kum serisinden sonra en düşük değer 110 Kumu serisinde görülmüştür. ASTM C 1260'a göre yapılan hızlandırılmış harç çubuğu metoduna göre renkli agregalarda 14 gün sonundaki genleşmeler % 10 değerinin altında olduğundan renkli agregalar alkali agreg reaksiyonu açısından zararsız davranış göstermektedir.



Şekil 10. Hızlı harç çubuğu numuneleri



Şekil 11. Serilerin genleşme değerleri

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı renkli agregaların renkli beton uygulamasında agrega olarak kullanılabilirliği ve ideal kabul edilen CEN Standart Kumuna en yakın özelliklere sahip renkli agreganın belirlenmesi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada serileri oluşturan renkli agregalarda birim ağırlık, özgül ağırlık, su emme, metilen mavisi deneyi, bu agregalardan elde edilen harç numuneleri üzerinde fiziksel, mekanik deneyler ile durabilite için alkali agrega reaksiyonu deneyi gerçekleştirilmiş olup, bu deneyler sonucu elde edilen çıktılar aşağıda verilmiştir:

- Agregası fiziksel deneylerinden birim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme sonuçlarına göre çalışmada kullandığımız renkli agregaların normal agrega sınıfında olduğu gözlenmiştir.

- Metilen mavisi deneyi sonuçlarına göre CEN Standart Kumuna en yakın metilen mavisi değeri 470 Kumu serisine aittir. Betonun davranışını öngörebilmek için ince malzemenin kalitesi hakkında fikir veren metilen mavisi deneyine gereksinim vardır. Agregası üreticilerine, üretim süreçlerinde metilen mavisi deney sonuçlarına göre iyileştirmeler yapması önerilmektedir.

- Harçlar üzerinde gerçekleştirilen fiziksel ve mekanik deneylerden elde edilen birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı, dinamik elastisite modülü, eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri ideal CEN Standart Kumuyla karşılaştırıldığında en iyi sonuçlar 110 Kumu serisine ait renkli agregada saptanmıştır. Öte yandan diğer renkli

agregaların sonuçlarında da çok büyük değişimlerin olmadığını belirtmemiz gerekir. Bu nedenle bu özellikler açısından tüm renkli agregalar istenilen özelliklere sahiptir.

- Dayanıklılığının ön plana çıktığı durumlarda fiziksel özelliklerden ağırlıkça su emme ve kılcallık katsayısı değerlerinin betonun dış etkilere karşı aranan özelliklerden olup, çalışmada gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre en düşük değerleri veren seriler 119 ve 110 Kumu renkli agregası serilerine aittir.

- Çalışmada kullanılan farklı renkli agregaların alkali agrega reaksiyonuna karşı aktif olup olmadıklarını belirlemek için gerçekleştirilen harçlar üzerindeki dayanıklılık problemlerinden alkali agrega reaksiyonu deney sonucuna göre, tüm renkli agregası serilerin genleşme değerleri referans numunesine göre yüksek çıkmıştır. Hızlandırılmış harç çubuğu metoduna göre renkli agregası serilerde meydana gelen genleşme değerleri incelendiğinde, tüm serilerin alkali agrega reaksiyonu açısından zararsız davranış gösterdiği saptanmıştır. Ancak kesin kaniya varılabilmesi için uzun dönemli alkali agrega deney yöntemlerinin de uygulanması gerekir.

Çalışmanın amacı ideal CEN Standart Kuması özelliklerine sahip en yakın renkli agrega örneğini tespit etmek ve bu agregaların renkli beton uygulamalarında kullanmak olduğundan deney sonuçları dikkate alındığında, renkli agregaların günümüzde beton üretiminde kullanılmaları ekonomik olmamasına karşın, işlenebilirlik dayanım ve dayanıklılık açısından beton teknolojisinde kullanılmasında herhangi bir olumsuz durum saptanmamıştır.

TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmada malzeme temini ve bilgi paylaşımı aşamalarında yardımlarından dolayı Eskişehir Altınaylar Yapı-Mikronize-Dekorasyon San. ve Tic. Ltd. Şti. Yetkililerine teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Erdoğan, T.Y., 2010, *Beton*, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık İletişim Yayını, Ankara, 741s.
- Nehdi M.L., 2014, Clay in Cement-Based Materials: Critical Overview of State-of-the-art, *Construction and Building Materials*, 51:31, pp.372-382.
- Topçu İ.B. and Demir A., 2008, The Relationship Between Methylene Blue Values of Concrete Aggregate Fines and Some Concrete Properties. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35: 4, pp. 379-383.
- Cota, F.P., Melo, C.C.D., Panzera, T.H., Araújo, A.G., Borges, P.H.R. and Scarpa, F., 2015, Mechanical Properties and ASR Evaluation of Concrete Tiles With Waste Glass Aggregate, *Sustainable Cities and Society*, 16:C, pp. 49-56
- Postacıoğlu, B., 1986, *BETON-Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton Cilt 2*, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 404 s.
- TS EN 1097-3, 1999, *Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2013, *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-9+A1, 2015, *Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 9: İnce Tanelerin Tayini - Metilen Mavisini Deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-1, 2009, *Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- ASTM C 1260, 2007, *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (mortar bar method)*, ASTM International.
- ASTM C 150, 2009, *Standard Specification for Portland Cement*, ASTM International.

Endüstriyel Uygulamalar
(Industrial Applications)

Atık Asfalt Kaplamalarının Beton Yol Yapımında Kullanımı

Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Concrete Road

T. Uygunoğlu, S. Çetin

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

İ.B. Topçu

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET Atık asfalt kırıklarının agrega olarak betonda kullanılması doğal agrega tüketimini ve beton maliyetini azaltır. Bitümlü bir malzeme olan atık asfalt kırıklarının su emme kapasitesinin doğal agregaya göre daha düşük olması taze betonda su gereksinimini azaltmakta ve işlenebilirlik artmaktadır. Yapılan bu çalışmada atık asfalt kırıklarının beton numunelerde agrega yerine en uygun kullanım oranları araştırılmıştır. Deneylerde, atık asfalt kırıkları 0-12 mm boyutlarında ve %0, 25, 50 ve 100 oranlarında kırmataş agregası yerine kullanılmıştır. Taze ve sertleşmiş beton numuneleri üzerinde fiziksel, mekanik ve dayanıklılık deneyleri yapılarak numunelerin özellikleri belirlenmiştir. Taze betonda çökme değerleri hesaplanırken, 7 ve 28 günlük sertleşmiş beton üzerinde yapılan deneylerde ultrases geçiş süresi, basınç dayanımı ve birim ağırlık değerleri belirlenerek elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre asfalt atığı kullanımı dayanımlarda, fiziksel ve mekanik özelliklerde azalmalara neden olmuştur.

ABSTRACT The use of reclaimed asphalt pavement (RAP) in concrete reduces the consumption of natural aggregate and cost of concrete. The water absorption of waste crushed asphalt is lower than the water absorption of natural aggregate owing to the bituminous structure, this reduces the water demand in fresh concrete. In this study, the optimum use of RAP particles as aggregate in concrete has been investigated. In the experiments, concretes have been produced with 0-12 mm waste crushed asphalt at the replacement ratios of 0, 25, 50, 75 and 100 %. The destructive, nondestructive and durability tests have been conducted on fresh and hardened specimens to determine physical and mechanical properties. The slump values were obtained in fresh concrete and ultrasound pulse velocity, compressive strengths were obtained in concrete at the end of 7th and 28th days. According to experimental results, asphalt waste caused the reduction of strength, physical and mechanical properties.

1 GİRİŞ

Karayollarında yenileme ve bakım çalışmaları sırasında, eski yol kaplamaları, freze adı verilen makineler ile yol yüzeyinden kazınmakta ve yine bu makineler yardımı ile belirli boyutlarda kırılarak belediye şantiyelerinde veya boş arazilerde atık malzeme olarak depolanmaktadır (Asphalt Ins., 2006). Bu atık malzemeler

miktarlarının oldukça fazla olması nedeniyle çevre kirliliğine yol açmaktadır (Krietch, 1991).

Üretim sırasında ortaya çıkan atıkların kullanılabilirliği endüstriyel açıdan kazanç olduğu kadar çevresel açıdan da bir sorunun giderilmesi anlamını taşımaktadır (Herrador vd., 2012). Bu nedenle asfalt atıklarının değerlendirilmesi konusunda bulunabilecek alternatifler ülke ekonomisine kaynak

sağlayacağı gibi bu atıkların çevre kirlenici özelliğini de büyük oranda ortadan kaldıracaktır (Oikonomou, 2005). Atık asfalt kırıklarının beton içerisinde doğal agregaya yerine kullanılması sonucunda da çevre kirliliği önlenabilir ve ülke ekonomisine büyük katkı sağlanabilir (Huang vd., 2013, Decker ve Young, 1996). Dünya ülkelerinin neredeyse tümünde yol yapım ve geliştirme çalışmalarının her geçen gün arttığı göz önünde bulundurulursa agregaya gereksiniminin buna bağlı olarak artması kaçınılmazdır (Hanks ve Magni, 1989). Atık asfalt kırıklarının agregaya olarak betonda kullanılması doğal agregaya tüketimini ve nakliye masraflarını azaltabilecek etkiye sahip olması nedeniyle, beton maliyeti düşecektir. Bitümlü bir malzeme olan atık asfalt kırıklarının su emme kapasitesinin doğal agregaya göre düşük olması taze betonda su gereksinimini azaltır ve işlenebilirlik artar, ayrıca çeşitli çalışmalar incelendiğinde, sertleşmiş betonda tokluk artmakta ve çatlak oluşumunun azaldığı görülmektedir (Akpınar, 2005). Asfalt kırıkları yolların yenilenmesi ve bakımı sırasında ortaya çıkan atık malzemelerdir, bu malzemelerin esnek ve rijit kaplamalarda yeniden kullanılması mümkündür. Rijit bir kaplama olan beton yollarda, sıcaklık ve nem farkından ve trafik yükleri nedeniyle oluşan gerilmeler altında, beton plakta çatlaklar görülebilmektedir. Bu çatlakları önlemek için beton yolu, serbest plaklar durumuna getiren derzlerin, belirli ve uygun aralıklarda yapılması gerekmektedir. Ayrıca, betona yüzeye yakın biçimde çelik teller konarak veya yine yüzeye yakın bir şekilde hasır donatıları yerleştirilerek bu çatlaklar en az düzeye indirgenebilir ve beton çekme direnci yükseltilebilir. Beton yolun, yol çeşitleri arasında çelik donatı kabul eden tek kaplama tipi olması, büyük bir avantaj olarak görülmektedir. Beton yollarda çatlak oluşumunu önleyici diğer bir yöntem ise agregaya yerine şekil değiştirme kapasitesi daha yüksek çeşitli malzemeler kullanılarak beton tokluğunun artmasını sağlamaktır. Bu durum, yapılan çalışmada detaylı bir şekilde incelenerek, atık asfalt kırıklarının agregaya yerine kullanılmasının betonda çatlak oluşumuna etkileri araştırılmıştır (Topçu ve Işıkdag, 2006). Beton yol yapımında çimento miktarının en az 350 kg/m³ olması şartnamelerde yer almaktadır. Buna ilaveten, çimentodaki alkali miktarı ve kullanılacak agreganın reaktivitesi, alkali-silika reaksiyonu olasılığına karşı dikkate alınmalı, gereken standard deneyler önceden

yapılmalıdır. Beton Kaplama için beton en az C 30/37, sınıfında ve eğilme dayanımı da en az 4.0 MPa olmalıdır. Su/çimento oranı 0.45'i geçmemesi önerilmiştir (Topçu ve Işıkdag, 2006; Rezeze vd., 2014).

Atık malzemelerin betonda kullanımı son zamanlarda oldukça popüler hale gelmiştir (Sagoe-Crentsil vd., 1996; raair vd., 2002). Betonda kullanılan atık malzemeler kaba ve ince agregaya veya katkı olarak değerlendirilmektedir (Etxeberria vd., 2007; Wağih vd., 2013). Asfalt kırığı agregası kaplamanın tamamen veya kısmen sökülmesi ile elde edilip endüstri uzmanlarına göre asfalt kaplama endüstrisi geri dönüşüm açısından lider durumdadır (Topçu ve Işıkdag, 2006). Her yıl 73 milyon ton asfalt kaplama tekrar kullanılmaktadır. Atık asfalt kaplamalar yol yapımı haricinde yol yatağı, şev ve toprak dolgularda kullanılır. Her yıl, eski yollardan sökülen asfalt kaplamaların % 80'i farklı şekilde yeni kaplama üretimlerinde değerlendirilir (Fuchs, 2002). Öte yandan devamlı gelişim gösteren inşaat sektörünün agregaya talebi gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde yıllık yaklaşık 290 milyon ton civarında agregaya üretimi olduğu bildirilmektedir (Işıkdag, 2009; Huang vd., 2013). Bu üretim büyük oranda taşocaklarında yapılmaktadır. Bu üretimde doğaya müdahale sonucu olumsuz çevresel etkiler oluşabilmektedir. Oysaki asfalt kırığı agregalarının betonda da kullanılabilirliği söz konusudur (Hisari vd., 1999). Bu çalışmada, asfalt kırığı agregalarının belirli oranlarda beton içindeki kırmataş agregasıyla yer değiştirilmesi sonucunda dayanım değerleri araştırılmıştır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada, 0-6 kırma kum (KK), 6-12 mm kırma taş-I (KT-I) ve 12-22 mm kırmataş-II (KT-II) olmak üzere üç farklı boyutta kireçtaşı kökenli agregaya kullanılmıştır. Agregaların özgül ağırlıkları KK için 2.65, KT-I için 2.70 ve KT-II için 2.72 olarak belirlenmiştir. Afyonkarahisar asfalt şantiyesinden temin edilen geri dönüşüm asfalt kaplama agregaları (RAP) beton içerisinde kullanılan KK ve KT-I'in toplamı yerine %25, %50 ve %100 oranlarında yer değiştirilerek beton karışımlarına ilave edilmiştir. RAP'ın özgül ağırlığı 2.6 olarak belirlenmiştir.

Laboratuvar ortamında beton yerde hazırlanan beton karışımları 350 dozlu ve 0.45 su/çimento oranında üretilmiştir (Tablo

1). Çimento ağırlığının %1 oranında da hiperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

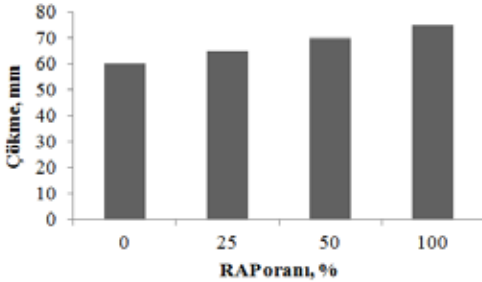
Tablo 1. Birim hacim bileşen miktarları, kg

Seri	Çimento	Su	KK	KT-I	KT-II	RAP
0	350	158	763	525	646	0
25	350	158	575	393	646	313
50	350	158	381	262	646	627
100	350	158	0	0	646	1254

Beton üretimini takiben Abrams konisiyle çökme deneyi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 150x150x150 mm boyutlarında kalıplara dökülen betonlar 24 sa sonra kalıptan alınarak standart koşullarda su içerisinde 7 ve 28 güne kadar kürlenmiştir. Kür işlemi sonrasında tek eksenli basınç ve yarmada çekme dayanımları 7 ve 28. günlerde belirlenmiştir. Ayrıca ultrases hızı ve Schmidt çekiciyle yüzey sertliği deneyleri de yapılmıştır.

3 DEĞERLENDİRME

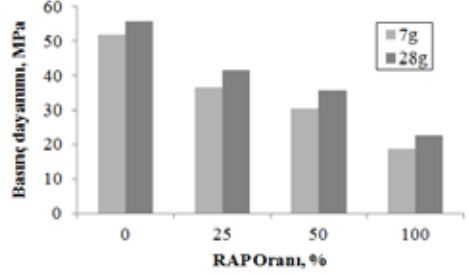
Yol betonlarının dayanıklılığı açısından mümkün olduğunca az hidrate suyu içermeleri gerekmektedir. Dolayısıyla bu durum da işlenebilirliğe dorudan etki etmektedir. Bir miktar kimyasal katkı kullanımıyla işlenebilirlik de artırılabilir. Belirli oranlarda RAP içeren betonların çökme değerleri Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. RAP’lı betonların çökme değerleri

Kontrol serilerinin çökme değerleri 60 mm iken RAP kullanımıyla betonların işlenebilirlikleri artmış ve %100 RAP kullanılan betonlarda 75 mm çökme elde edilmiştir. RAP agregalarının yüzeylerinin bitümle kaplı olması sonucunda beton içindeki diğer bileşenler ve kendi aralarındaki sürtünmeler nispeten azalmakta

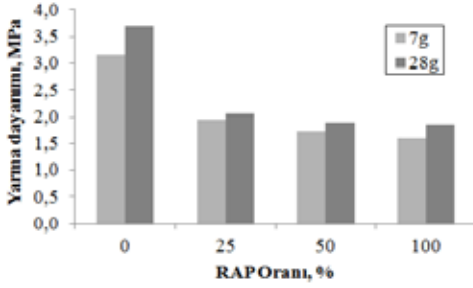
ve bu da betonun daha kolay hareket edebilmesini sağlayarak işlenebilirliğin artmasını sağlamaktadır. Belirli oranlarda RAP içeren betonların basınç dayanımları Şekil 2’de sunulmuştur.



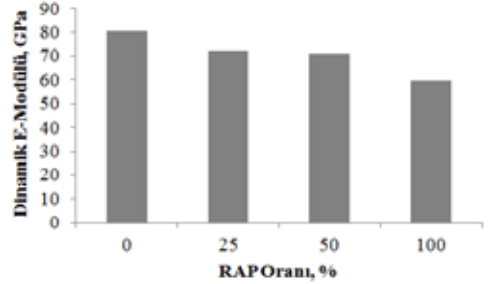
Şekil 2. RAP’lı betonların basınç dayanımları

Betonların 7 ve 28 günlük dayanımları incelendiğinde, tüm serilerdeki dayanım gelişimi yaklaşık aynıdır. Ancak 7 ve 28 günlük betonların basınç dayanımları RAP oranı arttıkça düşmeye başlamıştır. 28 günlük kontrol betonuyla karşılaştırıldığında, %25, 50 ve 100 oranındaki RAP’li betonlardaki dayanım kaybı sırasıyla %26, %36 ve %59 oranındadır. Yol yapımında kullanılacak betonların 28 günlük küp basınç dayanımlarının en az 37 MPa olması tavsiye edilmiştir. Buna göre %25 RAP içeren serilerin 28 günlük beton dayanımı 41.6 MPa iken %50 RAP içeren betonların basınç dayanımı da 35.7 MPa değerindedir. Dolayısıyla basınç dayanımı açısından %25-%50 arasında RAP oranı yol betonlarında kullanılabilir (Topçu, 1997).

Yarma dayanımları açısından da RAP içeren betonlar basınç dayanımına benzer özellikler göstermişlerdir (Şekil 3). Tamamen RAP kullanılan betonların yarmada çekme dayanımları 1.85 MPa iken kontrol betonların yarmada çekme dayanımları 3.7 MPa’dır. Yarmada çekme dayanımı açısından en az 2 MPa olması önerilen yol betonlarında %25 ve %50 arasında RAP kullanımıyla bu kriter de sağlanmış olmaktadır.



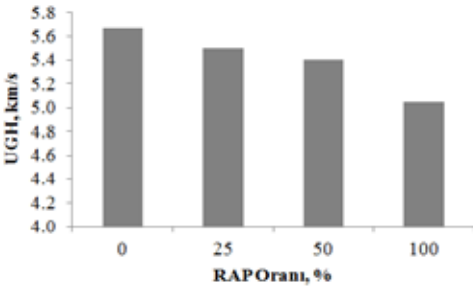
Şekil 3. RAP'lı betonların yarma dayanımları



Şekil 5. RAP'lı betonların E-modüllerinin değişimi

Ultras ses geçiş hızı (UGH) beton gibi malzemelerin boşluk yapısının tahmin edilmesinde kullanılan ölçüm yöntemlerinden birisi olup, bu değer artmasıyla daha dolu ve yoğun bir malzeme olduğu, bunun sonucunda da dayanımının daha yüksek olacağı düşünülmektedir. UGH değeri açısından 4.5 km/s üzerinde olması yüksek kalitede beton olduğunun göstergesidir. Tüm seriler bu değer üzerinde olduğundan kaliteli beton sınıfındadırlar (Şekil 4). RAP oranıyla birlikte beton içerisinde boşlukların bir miktar arttığı düşünülebilir. Buradaki azalma boşluk artışından çok bitümle kaplı agregaların sesin iletimine engel olduğu, bu nedenle de ses geçiş hızının azaldığı sonucuna varılmıştır. Çünkü bitüm gibi polimerik malzemeler sesin geçişini azaltan malzeme grubundadırlar.

RAP içeriğine göre betonların dinamik elastisite modülü (E-Modülü) değerlerinin RAP artışıyla birlikte azaldığı Şekil 5'te görülmektedir. Agregaların yüzeylerinin bitümle kaplı olup agrega-çimento arayüzündeki aderansı (kenetlenmeyi) azalttığından betonun yük altındaki şekil değişiminin artmasına ve buna bağlı olarak da E-modülünün azalmasına neden olmuştur.



Şekil 4. RAP'lı betonlarda ultras ses hızı değişimi

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, atık asfalt kırıklarının beton yol yapımında kırmataş yerine belirli oranlarda katılarak özellikle dayanım bakımından kullanımı araştırılmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Bitüm kaplı agregaya yüzeyleri sayesinde düşük aynı su/çimneto oranındaki kırmataşlı betonlara göre işlenebilirliği arttırdıkları görülmüştür.
- Agregaya yüzeylerinin bitümle kaplı olması agrega-çimento aderansını zayıflattığından basınç ve yarma dayanımlarının azalmasına neden olmuştur.
- Kontrol betonuyla karşılaştırıldığında, %25, 50 ve 100 oranındaki RAP'li betonlardaki dayanım kaybı sırasıyla %26, %36 ve %59 oranındadır.
- Bitüm gibi polimerik malzemeler sesin geçişini azaltan malzeme grubunda olup, agregalar da bu malzemeyle kaplı olduklarından betondaki ultras ses geçiş hızının azalmasına neden olmuşlardır.
- Betonların dinamik elastisite modülü değerlerinin RAP artışıyla birlikte azaldığı görülmüştür.

Yenilenen yollarda malzemelerinin taşınması, maliyetin artmasında önemli etkenler arasındadır. Finansal yönden incelenecek olursa, yol yapım maliyetlerini arttıran en önemli etkenlerden birisi agreganın inşaat alanına nakliyesidir. Malzeme kaynağı ve inşaat sahası arasındaki uzaklıklar inşaat maliyetlerine ilave bir yük getirmektedir. RAP istenilen boyutlarda kırıldıktan sonra inşaat sahasına yakın yerde bulunabilecek mobil beton santrallerinde değerlendirilerek doğal agregaya için gerekli

ulaşım maliyetini dūřurebilecek niteliktedir. Sonuç olarak, basınç ve yarma dayanımı açısından %50 oranına kadar şartnamelerde önerilen sınır değerleri sağladığı ve bu nedenle de beton yol yapımında kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmayı 16.MUH.ALTY.05 nolu projeyle destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

- Akpınar, A.F., (2005), Asfalt kırığı agregalı betonların mekanik zellikleri, Yk.lis.tezi, Eskisehir Osmangazi nv., Fen Bil. E, İnsaat Muh. ABD, 79s.
- Asphalt Institute, (2006), Asphalt concrete cold recycling user guide, 55 p.
- Decker, D.S. and Young, T.J., (1996), Handling RAP in an HMA facility, Proceedings of the Canadian Technical Asphalt Association
- Etxeberria, M., Marı, A., and Vázquez, E. (2007). Recycled aggregate concrete as structural material, Materials and Structures, 40(5), 529-541.
- Fraair, A.L., Pietersen, H.S. and de Vries, J., (2002), Performance of Concrete with Recycled Aggregates, Proc. of the Int Conf on Sustainable Concrete Construction, Dundee, Scotland, 187–198.
- Fuchs, F., (2002), Avrupa ve dünyada beton yol yapım alışmaları, Ulusal Beton Yollar Kongresi, CD.
- Hanks, A.J. and Magni, E.R., (1989), The use of bituminous and concrete material in granular base and earth, Materials Information Report.
- Herrador, R., Pérez, P., Garach, L., and Ordóñez, J. (2012). "Use of Recycled Construction and Demolition Waste Aggregate for Road Course Surfacing." J. Transp. Eng., 138(2), 182-190.
- Hisari, Y., Sano, M., Yagishita, F. and Yamada, M., (1999), Studies on the reprocessing of waste asphalt concrete for recycling', Proc. of the Concrete Institute of Australia 19th Biennial Conf., Sydney, 62–92
- Huang, B., Shu, X. and Li, G., (2005), Laboratory investigation of Portland cement concrete containing recycled asphalt pavements, Cement and Concrete Research, 35, 2008-2013.
- İşıkdağ, (2009), Atık Asfalt Kırıklarının Beton Yollarda Agregaya Yerine Kullanılmasının Araştırılması, Doktora tezi, Eskisehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bil. Ens., İnsaat Muh. ABD, 156s.
- Krietch, A.J., (1991), Evaluation of RAP as clean fill. Asphalt Institute.
- Oikonomou, N. D. (2005). Recycled concrete aggregates, Cement and Concrete Composites, 27(2), 315-318.
- Rezende, L. R., Silveira, L. R., Araujo, W. L., and Luz, M. P. (2014). "Reuse of fine quarry wastes in pavement: Case study in Brazil." J. Mater. Civ. Eng., 26(8), 1-9.
- Sagoe-Crentsil, K.K., Brown, T., Mak, S.L. and Taylor, A., (1996), Engineering Properties and Performance of Concrete made with Recycled Construction Aggregates, Proceedings of the National Symposium on the Use of Recycled Materials in Engineering Construction, Sydney, May, 132–135.
- Topcu, İ.B. (1997). "Physical and Mechanical Properties of Concretes Produced With Waste Concrete". Cement and Concrete Research, vol 27, pp 1817-1823.
- Topcu, İ.B. ve İşıkdağ, B., (2006), Atık asfalt kırıklarının agregaya olarak beton yollarda değerlendirilmesi, TCMB Cimento ve Beton Dünyası, 11, 72-85.
- Wagih, A.M., El-Karmoty, H.Z., Ebid, M., Okba, S.H., (2013), Recycled Construction And Demolition Concrete Waste As Aggregate For Structural Concrete, HBRC Journal, 9(3), 193-200.

Alternatif Hammadde Kaynakları
(Alternative Raw Material Sources)

Yıllankale-Misis (Adana) Kireçtaşlarının Agrega Kalitesinin Değerlendirilmesi

Evaluation of Quality of Yıllankale-Misis (Adana) Limestone Aggregate

Ö. Kılıç, S. Yurdakul

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET Yapılaşmanın hızla geliştiği ülkemizde inşaat sektöründe kaliteli agrega ve betona olan talebin artması iyi nitelikli agreganın da önemini artırmıştır.

Bu çalışmada, Yıllankale-Misis yöresi kireçtaşlarının, agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve kalite yönünden değerlendirilmesi yapılmıştır. İncelemeler sonunda gerçekleştirilen analiz ve deneylerden elde edilen değerlerin standartlarda belirtilen kabul edilebilir limitler içinde bulunması nedeniyle, Yıllankale-Misis yöresi kireçtaşlarının agrega olarak ve birçok alanda kullanımının uygun olacağı anlaşılmıştır.

ABSTRACT Developments in the construction sector in Turkey and increasing demand for good quality aggregate and concrete have resulted in that demand for good quality aggregate is also increased.

In this study, using as an aggregate of Yıllankale-Misis region limestones were investigated and evaluated in terms of quality. Test and analysis results with being within acceptable limits show that Yıllankale-Misis region limestones could be used for aggregate and many special purposes.

1 INTRODUCTION

Kimyasal bileşiminde asgari %90 kalsiyum karbonat (CaCO_3) bulunan tortul kayalara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca, mineralojik bileşiminde asgari %90 kalsit minerali bulunan kayalara da kalker adı verilmektedir.

Doğada bol miktarda bulunan kireçtaşı, karbonatlı tortul kayaç ve fosiller için kullanılan genel bir deyim olup, yapısında prensip olarak kalsiyum karbonat veya kalsiyum karbonat/magnezyum karbonat bileşikleri ($\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$) kombine halde bulunur. Bunun yanı sıra içinde değişik oranlarda demir, alüminyum, silisyum, kükürt gibi safsızlıklara da rastlanabilir. Dünya'da çok çeşitli formasyon ve tiplerde kireçtaşı mevcuttur. Bunlar orijin, jeolojik formasyon, mineralojik yapı, kristal yapısı,

kimyasal bileşim, renk ve sertlik özelliklerine göre gruplandırılır (örneğin tebeşir, marn, traverten gibi) (Boynton 1980).

Kalker, saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşur. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup teorik olarak %56 CaO ve %44 CO_2 ihtiva eder. Ancak tabiatta hiçbir zaman saf olarak bulunmaz. İkinci derecede değişik madde ve bileşiklerin içinde yer alması nedeniyle orjinal halde sarı, kahverengi ve siyah renklerde görülebilmektedir. Kalkerin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı 2,5-2,7 g/cm^3 arasındadır. Bu özellikleri itibarı kireçtaşları ile kimyasal değişmeye, kırılmaya ve yontulmaya çok elverişlidir (Önem 1997).

Kireçtaşları kalsiyum içeriği yüksek kireçtaşı ve magnezyum içeriği yüksek kireçtaşı olmak üzere başlıca iki sınıfa ayrılabilir (Çizelge 1). Kireçtaşı ortalama tane büyüklüğü ölçü olarak kullanılarak da sınıflandırılmaktadır.

Kireçtaşının tekstür yapısı, ana safsızlık oranları (karbonlu, demirli vb.) mikro yapısı baz alınarak sınıflama yapan yöntemler de vardır. Karbonat kayaçların sınıflamasında en çok Folk (1962) ve Dunham (1962) sınıflamaları kullanılmaktadır.

Çizelge 1. Kalsiyum karbonat içeriğine göre sınıflama (DPT 2001)

Kayaç Adı	Bileşimi
Çok yüksek kalsiyumlu kireçtaşı	En az %97 CaCO ₃
Yüksek kalsiyumlu kireçtaşı	En az %95 CaCO ₃
Yüksek karbonatlı kireçtaşı	En az %95 CaCO ₃ +MgCO ₃
Kalsitik kireçtaşı	%5 MgCO ₃
Magnezyum kireçtaşı	%5-20 MgCO ₃
Dolomitik kireçtaşı	%20-40 MgCO ₃
Yüksek magnezyumlu dolomit	%40-46 MgCO ₃

Günümüzde kireçtaşları, inşaat sanayinde çimento ve kireç hammadde, yapıtaşı ve kırma taş olarak, seramik ve tuğla yapımında, metalurjide, tarım alanında, gübre yapımında, cam, kağıt, kimya sanayinde, şeker endüstrisinde, matbaacılıkta, eczacılıkta, kömür tozu alevlerinin söndürülmesinde, asit yağmurlarının nötrleştirilmesi gibi özelliği ile çevre problemlerinin çözülmesinde, meyve suları ve oto lastiği üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kireçtaşlarının kullanım alanları safsızlıklarına ve ocaktan çıkan malzemenin tane boyutuna göre belirlenmektedir (Çizelge 2).

Bu çalışma, Yılkale-Misis yöresi kireçtaşlarının hammadde özelliklerinin ve standart agrega deneyleri ile de agrega olarak kullanılabilirliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Yılkale-Misis (Kokar Tepe) kireçtaşları özellikle Misis-Nur Dağı'nda yüzlek veren Bulgurkaya Olistostromu içerisinde yer almaktadır (Kozlu 1997). Misis-Andırın havzasında Üst Eosen-Oligosen yaşlı denizel bir matriks içinde Misis-Andırın melanjına ait blokları kapsayan kaotik istif, çok aktif tektono-sedimanter ortamın ürünüdür. İçinde bol olistolit bulunduran mega-breş, killi-kumlu çakıltaşı seviyeleri ile ardalanmalı

çökelen, türbidit özellikli kumtaşı-kalkarenit ve kumlu marn kaya türleri bulunmaktadır.

Yılkale-Misis yöresi kireçtaşları, fay kırıkları ile çevrili olması nedeni ile bol çatlaklı, bazı fay çatlaklarının arası kil dolgulu, bej renk ağırlıklı, yer yer beyaz, alt basamaklara doğru koyu renkli olarak görülmektedir. Sahada çok nadir de olsa magnezyum içeren pembemsi yapı da görülmektedir. Sahanın güney ve batı kısımlarında kireçtaşının yapısı daha sağlam olmasına rağmen kuzey ve doğu yönünde yapı zayıflamaktadır (Yurdakul 2010).

Yılkale-Misis yöresinde oluşmuş kireçtaşlarının hammadde ve agrega özelliklerinin belirlenmesi amacı ile kireçtaşlarından kireçtaşı özelliklerini yansıtmak üzere çatlaksız ve damarsız örnekler alınmıştır. Örnekler üzerinde kimyasal analiz, petrografik tanımlama, tane yoğunluğu ve su emme oranı, geometrik analizler, Los Angeles aşınma, alkali silis reaktivite, çok ince malzeme içeriği belirleme, donma çözünme dayanımı belirleme, ısıl şoka karşı direnç, asitte çözünebilir sülfat tayini, suda çözünebilir klorür tayini, organik madde tayini ve toplam kükürt tayini deneyleri yapılmıştır.

◆ Kireçtaşı örneklerinin kimyasal analizleri Siemens SRS 300 X-ray Floresans Spectrometer kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 2. Ürünün tane boyutuna göre kireçtaşlarının kullanım alanları ve aranan teknolojik özellikler (Temur 2001)

Tane	Kullanım Alanı	Teknolojik Özellikleri
>1 m	Kesilmiş ve parlatılmış taş (mermer)	Kusursuz büyük bloklar, beyaz veya tercih edilen renk ve desenler, düşük porozite, donma-çözölmeye karşı direnç
>30 cm	Yapı taşı	Kalın tabakalı, çatlaksız düşük porozite, donma-çözölmeye karşı direnç, yüksek basınca mukavemet
>30 cm	Temel veya zırh taşı	Basınca karşı yüksek mukavemet, darbelere karşı direnç, yüksek yoğunluk, düşük porozite, donma-çözölmeye karşı direnç, blok verecek kadar kalın tabakalı veya çatlaksız olma
1-30 cm	Kireç üretimi	Kimyasal saflık, kalsinasyonda verimlilik, kırma ve yıkama işlemine uygunluk, yanma karakteristikleri
1-20 cm	Agrega, yol malzemesi, tren yolu balastı, çatı kaplamaları, çimento mozayığı, sıva malzemesi	Kırma sertliği, aşınmaya karşı direnci, parlatma sertliği, çözöünen tuz miktarı, çimento içinde alkali reaksiyonları, tane şekli
0,2-5 cm	Kimya sanayi ve cam yapımı	Kimyasal saflık, organik madde miktarı, aşınma sertliği
3-8 mm	Filtrasyon malzemesi	Basınca karşı direnç, kimyasal saflık, su tutma, aşınma sertliği, kabuk oluşturma
3-8 mm	Kümes kumu	Kimyasal saflık, tane şekli
<4 mm	Tarım	Kimyasal saflık, organik madde miktarı
<3 mm	Demir cevheri sinterleme ve peletleme, aşındırma kumu, demir dışı metallerde akışkanlık verici	Kimyasal saflık
<2 mm	Plastik, kauçuk, boya, kağıt, cam macunlarında dolgu maddesi	Kimyasal saflık, beyazlık, ışığı kırma, mürekkep ve boya emme derecesi, pH değeri, kırma-öğütme sertliği
<2 mm	Asfalt dolgusu	Çok ince ve kolay öğütölebilme
<2 mm	Hafif aşındırıcı	Beyaz ve çok açık renk, düşük SiO ₂ oranı
<0,2 mm	Perdahlayıcı, parlaticı, sırlama, haşere ilacı	Kimyasal saflık, açık renk, organik madde miktarı
<0,1 mm	Fabrika bacalarındaki gazların desülfürizasyonu	Kimyasal saflık, yüzey alanı, mikro gözenek
Değişik	Hacim dolgusu	Kullanım amacına bağlı

◆ Petrografik incelemelerin gerçekleştirilmesi amacı ile kireçtaşı örneklerinden 0,02 mm kalınlığında ince kesitler hazırlanmış ve bu kesitler, polarizan mikroskop (Olympus BH-2) ile

incelenmiştir.

◆ Kireçtaşlarının tane yoğunluğu ve su emme oranı TS EN 1097-6 (2002)'ya göre belirlenmiştir.

◆ Uygun boyuta kırılan agregalar

üzerinde geometrik özellik belirlemeye yönelik olarak tane boyutu dağılımı, ince malzeme kalitesi belirleme ve yassılık endeksi deneyleri yapılmıştır. Yıllankale kireçtaşı agregalarının tane boyutları (Şekil 1) standartlara uygun olarak yapılan deneylerle belirlenmiştir. Agrega tane sınıfları, beton agregaları için TS 706 EN 12620+A1 (2009)'a göre bulunmuştur. Tane büyüklüğü dağılımı deneyi için uygun şartlarda alınan ve azaltılan deney numunesi üzerinde TS EN 933-1:2012 (2012)'ye göre tane büyüklüğü dağılımı ve TS EN 933-9+A1:2013 (2014)'e göre çok ince malzeme içeriği tespiti yapılmıştır. Tane şekli tayini yassılık endeksi deneyi için TS EN 933-1 (2012) standardına uygun olarak deney kısmının kütlesi hazırlanmış ve TS EN 933-3 (2012)'e göre hesaplanmıştır. Tane yoğunluğu, kütlenin hacme oranından

TS EN 1097-6 (2002)'ye göre hesaplanmıştır.

◆ Los angeles aşınma dayanımı deneyi TS EN 1097-2/D1 (2016)'e göre yapılmıştır.

◆ Donma ve çözölmeye karşı direnç tayini (Magnezyum sülfat deneyi) TS EN 1367-2 (2010)'ye göre yapılmıştır.

◆ Alkali silika reaktivite deneyi TS 2517 (2010)'ye uygun olarak yapılmıştır. Deney sonucunda agreganın alkali azalması (R_c) ve çözönmüş silis (S_c) değerleri arasındaki ilişki TS 2517 (2010)'de bulunan grafik yardımıyla belirlenmiştir.

◆ Isıl şoka karşı direnç TS EN 1367-5 (2011)'e, Asitte çözönebilir sülfat tayini, suda çözönebilir klorür tayini, organik madde tayini ve toplam kükürt tayini TS EN 1744-1:2009+A1 (2013)'e göre belirlenmiştir.



Şekil 1 Agrega tane boyutları

3 BULGULAR

Yapılaşmanın hızla geliştiği ülkemizde inşaat sektöründe ve yol yapımında agregaya

olan talebin artması iyi nitelikli agreganın da önemini artırmıştır. Bu nedenle, Yıllankale-Misis yöresi kireçtaşlarının agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Araziden alınan örnekler kimyasal bileşimlerinin belirlenmesi amacı ile analiz edilmiş ve sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir

Çizelge 3. Kireçtaşlarının kimyasal analiz sonuçları (%)

CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Kızdırma Kaybı
54,70±0,35	0,94±0,58	0,55±0,31	0,11±0,05	0,08±0,06	43,62±0,53

Yıllankale mevkii kireçtaşı örnekleri ortalama %97 CaCO₃ içermektedir. Bileşimine göre incelenen kayacın kireçtaşı olduğu söylenebilir. Kireçtaşında bulunan safsızlıkların (SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃) ve MgO oranının oldukça düşük olması, kireçtaşının kullanım alanları ve dolayısıyla pazarlanması açısından avantaj yaratacaktır.

Yıllankale-Misis yöresi kireçtaşlarının petrografik incelemesinde gözle bakıldığında ince kristalin bir yapıda olduğu görülmektedir. Kireçtaşlarından hazırlanan ince kesitler üzerinde yapılan incelemelerde fosillere rastlanmamış, kesitlerin kalsit minerallerinden yapıldığı ve opak mineral miktarının ise %1'den az olduğu tespit edilmiştir.

Kireçtaşlarının tane yoğunluğu ve su emme oranlarını belirlemek amacıyla TS EN 1097-6 (2002)'ya göre deneyler yapılmış ve bulunan sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4'de belirtilen kireçtaşlarının tane yoğunluğu ve su emme oranları standartta belirtilen değerlerle örtüşmektedir. Standartta göre beton agregalarındaki ince agregalarda su emme oranı %≤3 ve iri agregalarda su emme oranı %≤1,5 olmalıdır. Bölgedeki beton santrallerinin istediği agregalarının tane yoğunluğu ince agregalarda en az 2,62 g/cm³, iri agregalarda ise en az 2,68 g/cm³ dür. Elde edilen değerler kireçtaşlarının bölgede yer alan beton santrallerinin kullanımını için uygun olduğunu göstermektedir.

Kireçtaşlarından üretilen agregaların tane boyutları standartlara uygun olarak yapılan deneylerle belirlenmiştir. Bu sonuçlar TS 706 EN 12620+A1 (2009) ve TS EN 13043 (2004) standartlarına göre değerlendirildiğinde Çizelge 5'deki agrega

sınıflarının Temel Elek Serisi+Seri 1'e uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca, TS 7043 EN 13450 (2004) demiryolu balastları olarak seçilen agrega sınıflarının da agrega tane sınıfı standartlarına uygun olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 4 Agregaların tane yoğunlukları ve su emme oranı

Agrega Tane Sınıfı	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Su Emme (%)
0-4 mm	Pa=2,73 Prd=2,63 Pssd=2,67	1,39
4-10 mm	Pa=2,74 Prd=2,69 Pssd=2,70	0,67
10-20 mm	Pa=2,72 Prd=2,68 Pssd=2,70	0,55
4-14 mm	Pa=2,73 Prd=2,68 Pssd=2,70	0,70
10-14 mm	Pa=2,72 Prd=2,67 Pssd=2,70	0,45
14-20 mm	Pa=2,72 Prd=2,68 Pssd=2,70	0,51
20-40 mm	Pa=2,72 Prd=2,69 Pssd=2,70	0,40
0-4 mm	Pa=2,74 Prd=2,66 Pssd=2,71	1,20
0-20 mm	Pa=2,71 Prd=2,67 Pssd=2,70	0,47
0-40 mm	Pa=2,72 Prd=2,69 Pssd=2,70	1,25
4-40 mm	Pa=2,72 Prd=2,67 Pssd=2,70	0,65

Yılkale mevkii kireçtaşlarına ait örnekler üzerinde standardına göre hazırlanmış ince ve iri agregaların tane büyüklüğü dağılımı Çizelge 6-8'de verilmiştir.

Seçilen tane sınıfları üzerinde yapılan tane büyüklüğü dağılımı ve çok ince malzeme muhtevası deney sonuçları, tane sınıflarının standartlarda istenilen şartları sağladığını göstermiştir. İri agregalarda ince malzeme muhtevasının istenilen alt limit $\% \leq 1,5$

değerine göre uygun olduğu görülmüştür. İnce ve karışık agregalarda ise ince malzeme muhtevasının $\%3$ 'ün üzerinde olması nedeni ile çok ince malzemenin kalitesini değerlendirmek amacıyla ayrıca metilen mavisi deneyi de yapılmıştır.

Demiryolu balastlarına yapılan tane dağılımı analizlerine göre ince ve iri agregaların demiryolu balastları tane büyüklüğü dağılımı için genel şartları sağladığı görülmüştür. İnce malzeme ve çok ince malzeme içeriği standartlara göre $\%1$ 'in altında olduğundan ince taneler ve çok ince tanelerin zararsız olduğu kabul edilebilecektir.

Çizelge 5 Agrega tane sınıfları

Standartlar	Agrega tane sınıfları (mm)						
TS 706 EN 12620+A1	0-4	4-10	10-20	4-14	14-20	20-40	
TS EN 13043	0-4	4-10	10-20	10-14	14-20	0-20	0-40
TS 7043 EN 13450	31,5-50	31,5-63					

Çizelge 6 TS 706 EN 12620+A1 (2009) Beton agrega numunelerinin tane büyüklüğü dağılımı tayini

Elek Boyutları	0-4 mm Geçen %	4-10 mm Geçen %	4-14 mm Geçen %	10-20 mm Geçen %	14-20 mm Geçen %	20-40 mm Geçen %
2D	100	100	100	100	100	100
1,4D	100	100	100	100	100	100
D	95,9	99,1	100	99,6	98,8	98,8
Orta Göz açıklıklı elek	yok	yok	40	10,6	Yok	Yok
d	-	2	11		14	14
d/2	-		2,3		2,1	2,1
1	25,5					
0,25	13,6					
0,063	10,2	0,85	0,80	0,7	0,75	0,45

Çizelge 7 TS EN 13043 (2004) yol agregası numunelerinin tane büyüklüğü dağılımı

Elek Boyutları	0-4 mm Geçen %	4-10 mm Geçen %	10-14 mm Geçen %	10-20 mm Geçen %	14-20 mm Geçen %	0-20 mm Geçen %	0-40 mm Geçen %
2D	100	100	100	100	100	100	100
1,4D	100	100	100	100	100	100	100
D	90	96	95	100	98	100	100
Orta göz açıklıklı elek	D/2	D/d=2,5 7,1 mm	Yok	D/d=2 14 mm	Yok	D/2	D/2
d	55	58		32		79	84
d/2	-	6	16	8	20	-	-
	-	1,5	1	2	1	-	-
0,063	9,2	0,8	0,5	0,5	0,45	7,1	7,4

Çizelge 8 Demiryolu balastları için agregaların tane büyüklüğü dağılımı (TS 7043 EN 13450 2004)

Elek boyutları	31,5-50 mm	31,5-63 mm
	Geçen %	Geçen %
80	100	100
63	100	98
50	85	72
40	57	38
31,5	20	22
22,5	2	1,5
0,5	0,8	0,85
0,063	0,5	0,5

Yılkale mevki kireçtaşlarından 0-2 mm ve 0-0,125 mm aralığında hazırlanan ince ve karışık agregalar üzerinde TS EN 933-9 (2001) standardına göre metilen mavisi deneyi yapılmış ve ince malzeme kalitesini gösteren deney sonuçları Çizelge 9'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre MB değerinin $\leq 1,5$ olması ve MB_F değerinin ≤ 10 olması ince malzemenin kalitesinin iyi olduğunu göstermektedir.

Yılkale mevki kireçtaşlarına ait iri agrega örnekleri TS EN 933-3 (2012) standardına göre hazırlanmıştır. Bulunan tane şekli yassılık endeksi değerleri Çizelge 10'da verilmiştir. Deneyler sonucunda 4-10 mm tane boyutu dışındaki tüm sınıfların yassılık endeksi değerlerinin %15'in altında olduğu tespit edilmiştir. Bölge kireçtaşlarının beton ve yol agregaları için uygun değer kabul edilen ≤ 35 şartını fazlasıyla sağladığı ve demiryolu balastı olarak da kullanılabilmesi saptanmıştır.

Çizelge 9 Kireçtaşı agregalarının metilen mavisi değeri

0-2 mm	MB değeri	Ort. MB Değeri
1. Numune	1,06	
2. Numune	0,95	1,05
3. Numune	1,14	
0-0,125 mm	MB _F değeri	Ort. MB _F Değeri
1. Numune	5	
2. Numune	4,5	4,72
3. Numune	4,65	

Ort.: Ortalama

Çizelge 10 Agrega numunelerinin tane boyutlarına göre yassılık endeksi değerleri

Tane Boyutu (mm)	Yassılık endeksi
4-10	15,28
10-20	12,13
10-14	11
4-14	12,0
14-20	11,5
20-40	9
31,5-50	13
31,5-63	12,5

Yılkale Mevkii'nden alınan örneklerin 500 devir sonundaki Los Angeles aşınmaya karşı direnci %25,8 olarak bulunmuştur. Bu değer TS EN 1097-2/D1 (2016)'e göre beton agregası olarak kullanılabilen kireçtaşları için sınır değeri (Los Angeles agregaların parçalanmaya karşı direnci) ≤ 30 sağlamaktadır.

İri agregaların donma ve çözünme etkisine karşı direncini belirlemek amacıyla Yılkale mevkiinden alınan TS EN 1367-2 (2010)'ye uygun olarak hazırlanmış kireçtaşları üzerinde deney gerçekleştirilmiş ve deney sonucunda bulunan donma ve çözünme sonrası kütle kaybı değeri (MS) %6,2 (MS18) olarak bulunmuştur. Bulunan değer ≤ 18 (MS18) olduğundan numunelerin agrega olarak kullanılabilmesi anlaşılmıştır.

Alkali silika reaktivite deneyi TS 2517 (2010)'ye uygun olarak yapılmıştır. Deney sonucunda agreganın alkali azalması (R_c) ve çözünmüş silis (S_c) değerleri arasındaki ilişki TS 2517 (2010)'de bulunan grafik yardımıyla belirlenmiştir. Deneyler sonucunda Alkali Azalması (R_c)= 130 m.mol/lit ve Çözünen Silis (SiO₂)= 1,3 m.mol/lit olarak bulunmuştur. Bulunan değer, I. Bölge'de bulunan zararsız agregalar kısmında yer almaktadır.

Isıl şoka karşı direnç TS EN 1367-5 (2011)'e 10-14 mm aralığındaki malzemede kütle kaybı (I) %0,4, mukavemet kaybı (V_{LA}) 3,5 olarak bulunmuştur. Bulunan değerler kireçtaşlarının bitümlü bağlayıcılarla birlikte yol yapımında kullanılmaya uygun özellikte olduğunu göstermektedir.

Asitte çözünebilir sülfat tayini için TS EN 1744-1:2009+A1 (2013)'e uygun olarak gerçekleştirilen deney sonucunda bulunan asitte çözülebilir sülfat değeri %0,006'dır. TS 706 EN 12620+A1 (2009) standardına göre $AS_{0,2}$ kategorisinde olan Yıllankale mevki agregalarının asitte çözünebilir sülfat miktarı bölgedeki beton santrallerinde istenilen değeri ($\leq\%0,4$) sağlamaktadır.

Suda çözünebilir klorür tayini için TS EN 1744-1:2009+A1 (2013)'e uygun olarak hazırlanan deney numunesi üzerinde gerçekleştirilen deney sonucunda bulunan klor değeri %0,0012'dir. Bulunan değer bölgede istenilen % klor değerini ($<\%0,01$) sağlamaktadır.

Organik madde tayini için TS EN 1744-1:2009+A1 (2013)'e uygun olarak gerçekleştirilen deney sonucunda Yıllankale mevki kireçtaşlarında organik madde tespit edilmemiştir.

Toplam kükürt belirleme deneyleri sonucunda TS EN 1744-1 (2011)'e göre toplam kükürt miktarı %0,012 olarak bulunmuştur. Beton agregalarında havada soğutulmuş yüksek fırın cürufu dışındaki agregalar için toplam kükürt %1'i aşmamalıdır. Agregada kararlı bir demir sülfür bileşiği mevcut ise özel tedbirler alınmalıdır. Bu mineralin mevcut olduğu biliniyorsa S cinsinden toplam kükürt muhtevası en çok %1 olmalıdır.

5 SONUÇLAR

Yıllankale yöresinde oluşmuş kireçtaşlarının hammadde ve agregata özelliklerinin belirlenmesi amacı ile kireçtaşı örnekleri alınmış ve kimyasal, fiziksel analiz, petrografik tanımlama, geometrik analizler, Los Angeles aşınma, alkali silis reaktivite, çok ince malzeme içeriği belirleme, donma çözünme dayanımı

belirleme, ısıl şoka karşı direnç, asitte çözünebilir sülfat tayini, suda çözünebilir klorür tayini, organik madde tayini ve toplam kükürt tayini deneyleri yapılmıştır.

Kimyasal analiz sonuçlarına göre kireçtaşlarının $CaCO_3$ oranının %97'den büyük olması, safsızlık (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3) oranlarının oldukça düşük olması; özellikle Fe_2O_3 oranının çok düşük olması, bu kireçtaşlarının agregata ve kireç hammaddesi olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Mikroskop ve gözle yapılan petrografik değerlendirmelere dayanarak söz konusu kireçtaşı numunelerinin ince kristalli olması nedeniyle mekanik dayanımlarının yüksek olacağı söylenebilmektedir. Kesitler üzerinde yapılan petrografik incelemeler de kimyasal analiz sonuçlarını pekiştirmektedir.

İncelenen kireçtaşlarının tane yoğunluğu ve su emme oranları standartta belirtilen değerlerle örtüşmektedir. Bulunan değerler kireçtaşlarının bölgede yer alan beton santrallerinin kullanımı için uygun olduğunu göstermektedir.

Los Angeles aşınma değerleri kireçtaşlarının beton agregası olarak değerlendirilebileceğini ve kireçtaşlarının sık bir dokuya sahip olduğunu ve dolayısıyla kireç üretiminde tercih edilen bir cins olduğunu göstermektedir.

Bölge kireçtaşları üzerinde TS 706 EN 12620+A1 (2009) beton agregaları, TS EN 13043 (2004) yol agregaları, ve TS 7043 EN 13450 (2004) demiryolu balast agregaları standartlarında istenildiği şekilde yapılan geometrik analiz ve diğer analizler neticesinde elde edilen sonuçların bölgedeki beton santrallerinin ve yol şartnamelerinin istediği özellikleri sağladığı görülmektedir.

Yıllankale kireçtaşlarının donma ve çözünme sonrası kütle kaybı değerinin (MS) ≤ 18 (MS18) olması kireçtaşlarının agregata olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. 0-14 mm aralığındaki malzemede kütle kaybının %0,4, mukavemet kaybının 3,5 olarak bulunması kireçtaşlarının bitümlü bağlayıcılarla birlikte yol yapımında kullanılmaya uygun özellikte olduğunu ve kireçtaşlarının ısıl şoka karşı dirençli olduğunu göstermektedir.

Yılkale mevkii agregalarının asitte çözünebilen sülfat miktarı bölgedeki beton santrallerinde istenilen $\leq 0,4$ değerini sağlamaktadır. Kireçtaşları TS 706 EN 12620+A1 (2009) standardına göre AS_{0,2} kategorisindedir.

Yılkale mevkii kireçtaşlarında beton için zararlı olan klor içeriği ($< 0,01$) ve toplam kükürt miktarı (< 1) oldukça düşüktür. Ayrıca organik madde tespit edilmemesi kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Boynton RS, 1980. Chemistry and technology of lime and limestone. 2nd Edition. John Wiley and Sons Inc., New York, 592 p.
- DPT 2001. Madencilik özel ihtisas komisyonu alçı-kireç-kum-çakıl-boya toprakları-mıdır-tuğla-kiremit çalışma grubu raporu, DPT: 2615, ÖİK: 626, Ankara.
- Dunham RJ, 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Textures, in Classification of Carbonate Rocks-A Symposium: AAPG Memoir 1, p. 108-121.
- Folk RL, 1962. Spectral subdivision of limestone types, in classification of carbonate rocks-a symposium: AAPG Memoir 1, p. 62-84.
- Kozlu H, 1997. Misis-Andırın dolaylarının stratigrafisi ve yapısal evrimi, Türkiye 7. Petrol Kongresi, Ankara, s. 104-116.
- Önem Y, 1997. Sanayi madenleri, Kozan Ofset, Ankara, 368 s.
- Temur S, 2001. Endüstriyel hammaddeler, Konya, 310 s.
- TS EN 933-1:2012, 2012. agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini-eleme metodu, Ankara.
- TS EN 933-9+A1:2013, 2014. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 9: İnce malzeme tayini - Metilen mavisi deneyi
- TS EN 933-3, 2012. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 3: Tane şekli tayini yassılık endeksi, Ankara.
- TS EN 1367-2, (2010). Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi, Ankara.
- TS EN 1744-1, 2000. Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Kimyasal analiz, Ankara.
- TS EN 933-9, 2001. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 9: İnce tanelerin tayini- metilen mavisi deneyi, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2002. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini, Ankara.
- TS EN 13043, 2004. Yollar, havaalanları ve trafiğe açık diğer alanlardaki bitümlü karışımlar ve yüzey uygulamalarında kullanılan agregalar, Ankara.
- TS 7043 EN 13450, 2004. Demir yolu balastları için agregalar, Ankara.
- TS EN 1367-5 (2015) Agregaların ısı ve bozunma özellikleri için deneyler, Bölüm 5: Isıl şok direncinin tayini, Ankara
- TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton agregaları, Ankara.
- TS EN 1097-2/D1, 2016. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için yöntemler
- TS EN 1744-1:2009+A1, 2013, Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Kimyasal analiz, Ankara
- TS 2517, (2010). Agregaların potansiyel alkali silis reaktivliğinin tayini - kimyasal yöntem, Ankara.
- TS EN 1744-1, 2011. Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Kimyasal analiz, Ankara.
- Yurdakul S, 2010. Yılkale-Misis (Ceyhan-Adana) yöresi kireçtaşlarının hammadde özelliklerinin belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, 78 s.

Beyyazı (Afyonkarahisar) Yöresi Karbonatlı Kayaçların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

Investigation of the Usability of Beyyazı (Afyonkarahisar) Carbonatic Rocks as Concrete Aggregate

M.Y. Çelik, M. Ersoy

Afyon Kocatepe Üniv., Afyon Meslek Yüksek Okulu, Afyonkarahisar

A. Şahbaz

Akarbaşı Mh. Atatürk Blv. Çetin Apt. 65/2 Odunpazarı, Eskişehir.

ÖZET Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde kimyasal ve mineral katkıların uygun oranlarda ve homojen olarak karıştırılmasıyla oluşturulan bir yapı malzemesidir. Agregalar; beton için önemli bir bileşendir ve beton içerisinde hacimsel olarak yaklaşık %75 oranında kullanılırlar. Kullanılan agregalar TS 706 EN 12620 standardına uygun olmalıdır. Bu çalışmada Beyyazı taşocağı ve kırma-eleme tesisinde üretilen kırma taşların beton agregaları standardına uygunluğu araştırılmıştır. Alınan numuneler, boyut küçültme, numune azaltma ve boyuta göre sınıflandırma işlemine tabi tutulduktan sonra iri (22.4-11.2 mm ve 11.2-4 mm) ve ince (0-4 mm) agrega olarak sınıflandırılmıştır. Numunelerin özelliklerini belirlemek amacıyla petrografik-mineralojik (polarizan mikroskop, SEM-EDX ve XRD), kimyasal, fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır. Bu test ve analizler sonucunda; Beyyazı yöresi karbonatlı kayaçların “TS 706 EN 12620 Beton Agregaları” standardına uygun olduğu ve kırma taşların, hazır betonda beton agregası olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT Concrete is a building material formed by mixing cement, aggregates, water, chemical and mineral additives in the appropriate proportions homogeneously. Aggregates are important for concrete since %75 of the concrete consists of them. However, the used aggregates must comply with TS 706 EN 12620 standard. In this research, the conformity of crushed stones to concrete aggregates standard is investigated. The stones were produced in the crushing-screening plant of Beyyazı quarry. Taken samples were subjected to size reduction, sample reduction and classification by size processes. After that, they were classified as large (22.4-11.2 mm and 11.2-4mm) and thin (0-4mm) aggregates. Moreover, in order to determine the characteristics of the samples petrographic, mineralogical (polarizing microscope, SEM-EDS and XRD), chemical, physical and mechanical tests were applied. According to these tests and analysis; it is determined that Beyyazı carbonated rocks conforms to “TS 706 EN 12620 Concrete Aggregates” standard and crushed stones can be used as aggregate in ready-mixed concrete.

1 GİRİŞ

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde bir katkı maddesinden oluşan, oranları belirli esaslara göre ayarlanmış bir karışımı, istenen şekil ve boyutta kalıplar içine boşluksuz olarak yerleştirmek ve uygun bakım koşulları

altında sertleştirme yolu ile elde edilen kompozit bir malzemedir (Kocataşkın, 1991). Çimentonun, su ile birleşmesinden oluşan çimento hamuru agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevini

yapar. Agregaya ise betonun iskeletini oluşturan kum, çakıl, kırma taş gibi taneli mineral malzemedir (Erdoğan, 1995).

Heterojen bir yapıya sahip olan betonun özellikleri, betonda kullanılan malzemeler tarafından belirlenir. Beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturan agregaların kalitesi betonun performansını ve duraylılığını büyük ölçüde etkilemektedir. İyi bir beton elde edilebilmesi için uygun agrega kullanılması gerektiği bilinen bir gerçektir. Agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi gibi özellikleri elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Tüm bu özelliklerin beton kalitesi üzerindeki etkisi büyüktür (Şengül vd., 2003). Hangi amaçla üretilirse üretilsin betonda bulunması gereken 3 ana nitelik vardır. Bunlar taze halde iken işlenebilirlik, sertleşmiş halde iken dayanım ve dayanıklılıktır (Akman, 1977).

Agregalar çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olmakla birlikte, özellikle inşaat sektöründe zorunlu olarak kullanılan bir malzemedir. Ülkemizde özellikle son 25–30 yıl içinde köyden kente hızlı bir nüfus göçünün meydana gelmiş olması, bu nüfus hareketinin doğal sonucu olarak inşaat sektöründeki büyüme ve gelişme, yol yapımının hızlanması ve benzeri nedenlerle agrega gereksiniminde büyük artışlara neden olmuştur (Yıldırım ve Yılmaz, 2002).

Ülkemizde agrega üretimi taşocaklarından, dere yataklarından ve denizlerden yapılmaktadır. Bu çeşitlilikte, arazi yapısı önemli rol oynamaktadır. Akarsu yataklarından üretim, son yıllarda çevre koruma kanunlarının getirdiği kısıtlamalarla azalma eğilimine gitmiştir. Agregaya üretimi olarak taşocakları her geçen gün önem kazanmaktadır (Yılmaz ve Arıoğlu, 2006).

Bu çalışmada, Afyonkarahisar merkez Beyyazı köyünde bulunan Sağlamlar İnş. Taah. San. Tic. Ltd. Şti. firmasına ait kırma-eleme tesisinde üretilen kırma taşların TS 706 EN 12620 beton agregaları standardına uygunluğu araştırılmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Deneylerde kullanılan numuneler Afyonkarahisar merkez Beyyazı köyünde bulunan Sağlamlar İnş. Taah. San. Tic. Ltd. Şti. firmasına ait kırma taş ocağından alınmıştır. Numune temininde TS 707 normuna uygun hareket edilmiştir. Numunelerin alındığı ocak lokasyon haritası Şekil 1'de, ocağın görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. Agregaya deneylerinde, MgSO₄ dona dayanıklılık deneyi için ve organik madde tayinin tespiti için NaOH kimyasalı kullanılmıştır.



Şekil 1. Beyyazı kırmataş ocağı lokasyon haritası



Şekil 2. Beyyazı kırmataş ocağının görünümü.

2.2 Yöntem

Malzeme karakterizasyonu için numunelere mineralojik ve petrografik analizler (polarizan mikroskop, XRD ve SEM-EDX), ve kimyasal analizler uygulanmıştır. Numunenin petrografik incelemeleri için ince kesitleri hazırlanmış ve polarizan mikroskop incelemeleri, Nikon marka LV100POL model polarizan mikroskop ile TS 5694 EN 12670 (2004) standardı kullanılarak tane büyüklüğü, dokusu, mineralojik bileşimi ve kayaç grubu açısından incelenmiştir. XRD analizleri Çanakkale Seramik Fizik laboratuvarlarında Panalytical X-pert MRD (X-celerator dedektör) ile yapılmıştır SEM analiz için numuneler karbonla kaplanmış ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan LEO 1430

VP model SEM cihazı ile mikro mineral incelemeler yapılarak resimleri çekilmiştir. Kimyasal analiz, Çanakkale Seramik fabrikasında Rigaku marka sys 3270 model XRF cihazı ile yapılmıştır.

Standarda uygun olarak mermer kırma taş ocağından alınan numuneler, boyut küçültme, numune azaltma (TS EN 932-2) ve boyuta göre sınıflandırma (TS 3530 EN 933-1) işlemine tabi tutulduktan sonra iri (22-12 mm ve 12-4 mm) ve ince (0-4 mm) agrega olarak sınıflandırılmıştır. Agregaların standartlara uygunluğu, TS 706 EN 12620'ye uygun olarak incelenmiş, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Çizelge 1'de belirtilen test ve/veya analizler yapılmıştır.

Çizelge 1. TS 706 EN 12620 standardına göre beton agregalarına yapılan test ve/veya analizler.

Test ve/veya Analiz	Uygulanan Standart	Kaynak
Petrografik analiz	TS 10088 EN 932-3	TSE, 1997
Numune alma	TS 707	TSE, 1980
Numune azaltma	TS EN 932-2	TSE, 1999
Agrega tane sınıfları	TS 3530 EN 933-1	TSE, 1999
Çok ince malzeme muhtevası	TS 3530 EN 933-1	TSE, 1999
Metilen mavisi	TS EN 933-9	TSE, 2001
Tane şekli tayini yassılık endeksi	TS 9582 EN 933-3	TSE, 1999
Los Angeles metodu	TS EN 1097-2	TSE, 2000
Özgül ağırlık ve su emme oranı	TS EN 1097-6	TSE, 2002
Yığın yoğunluğu ve boşluk hacmi tayini	TS EN 1097-3	TSE, 1999
Su muhtevası	TS EN 1097-5	TSE, 2001
Donma ve çözölmeye karşı direnç	TS EN 1367-2	TSE, 2011
Asitte çözünebilen sülfat	TS EN 1744-1	TSE, 2000
Toplam kükürt	TS EN 1744-1	TSE, 2000
Ateş zayıatı	TS EN 1744-1	TSE, 2000
Humus muhtevası	TS EN 1744-1	TSE, 2000

3 BULGULAR

3.1 Petrografik ve Mineralojik Analizler

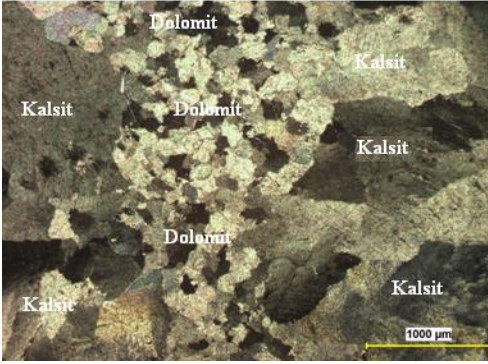
Polarizan mikroskop incelemelerinde, çoğunlukla iri boyutlu kalsit mineralleri ve çatlak ve boşluk dolgusu olarak sekonder küçük boyutlu dolomit mineralleri gözlenmektedir (Şekil 3). Petrografik

çalışmalar sonucunda örnek dolomitik mermer olarak tanımlanmıştır. İnce kesitlerde yapılan tane boyut analizinde 50 adet iri boyutlu taneye ölçüm yapılmış, maksimum tane boyutu 467.5 µm minimum tane boyutu 47.0 µm ve ortalama tane boyutu ise 234.5 µm olarak bulunmuştur. Küçük tanelere yapılan tane boyut analizinde 51 adet taneye ölçüm yapılmış, maksimum tane

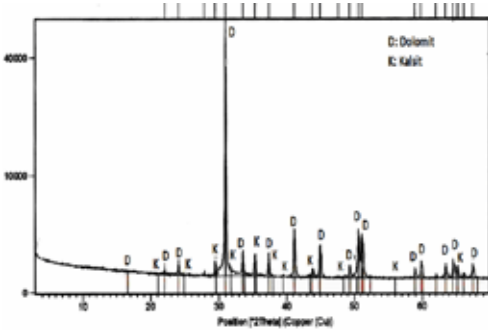
boyutu 114.1 μm minimum tane boyutu 3.9 μm ve ortalama tane boyutu ise 32.0 μm olarak bulunmuştur.

3.1.1 XRD analizi

Yapılan XRD analizleri sonucunda mermerler içerisinde kalsit ve dolomit mineralleri tespit edilmiştir (Şekil 4). Elde edilen bu değerlere göre, analizi yapılan numune dolomitik mermer olarak adlandırılabilir.



Şekil 3. Beyyazı agrega numunesinde kalsit ve dolomit görünümü



Şekil 4. Kalsit ve dolomit mineralleri XRD analiz grafiği

3.1.2 SEM analizi

Beyyazı agrega numunesinin SEM analizinde kalsit ve dolomit mineralleri görülmüştür. Bu minerallerden dolomitlerde EDX analizi yapılmış ve analiz sonuçları Şekil 5’de verilmiştir.

3.2 Kimyasal Analiz

Kimyasal analiz sonuçlarına göre mermerlerin esas bileşeni olan CaO %35.16 ve MgO %17.72 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2). Bu durum mikroskop incelemeleri ve XRD verilerinde de olduğu gibi dolomitleşme olduğunu göstermektedir.

Dolomit yüzdesi yükseldikçe yani kayaç dolomite doğru dönüştükçe malzeme, betonda kullanılamaz hale gelmektedir. Beton içinde agrega olarak dolomitler kullanıldıkları zaman bu agregalar çimento içindeki alkali hidroksitlerle (genellikle NaOH) Alkali-karbonat reaksiyonu yapmakta ve hacim genişlemesi olmaktadır. Reaksiyona giren en fazla dolomit miktarı kalsit ve dolomitin eşit olduğu (%50) en yüksek orandır. Bu nedenle kimyasal bileşimde MgO değerinin artması istenmez. Kızdırma kaybı yaklaşık %46.7 olup, bu durum karbonatların parçalanarak ortama CO₂'i bırakması ve mermer içerisindeki organik maddelerin yanması sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Silis oranı %1 altındadır ve bu da herhangi bir sakınca içermemektedir.

Çizelge 2. Beyyazı agrega numunesine ait kimyasal analiz sonuçları

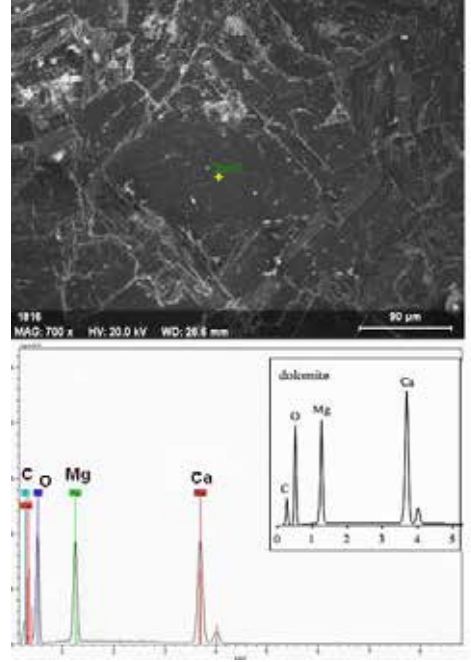
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	A.Z
0.21	0.17	0.01	0.07	35.16	17.72	0.02	0.005	46.7

3.3 Agrega Test ve Deneyleri

3.3.1 Tane boyu analizi

Agrega içindeki değişik boyuttaki tanelerin oranı, agreganın kullanım amacına ve yerine göre önem taşımaktadır. Yapılarda kullanılacak agregalar, hacim içerisinde, birbirlerinin oluşturdukları boşluklarını dolduracak boyutlarda olmalıdırlar. Ancak uygun boyut dağılımı (agrega granülometrisi) ile işlenebilirliği yüksek, segregasyona uğramamış ve boşluksuz bir beton elde etmek mümkün olabilecektir. Ayrıca tane boyutları küçüldükçe toplam yüzey alanı artar ve bunun sonucu su ihtiyacı fazla olur (Zimbelmann, 1989).

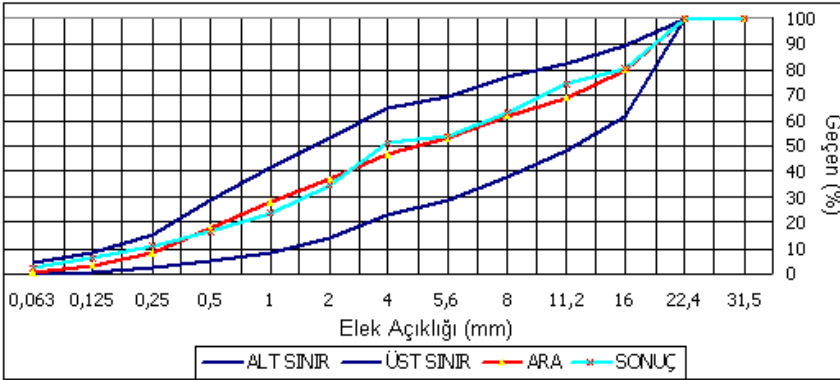
Elek analizleri TS 3530 EN 933-1 standardına uygun olarak yapılmış ve iri (22-12 mm ve 12-4 mm) ve ince (0-4 mm) agrega sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Elek analizi sonucunda betonda kullanılacak agreganın granülometri eğrileri çizilmiştir (Şekil 6). Beyyazı agregalarına yapılan elek analizi sonucunda çıkan granülometri eğrileri, TS EN 706 standardı granülometri eğrisi sınırları içerisinde kalmaktadır. Bu sonuçlara göre mermer agregasının beton yapımına tane boyutu bakımından uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Beyyazı numunesinde gözlenen dolomit mineralinin EDX analiz grafiği vedolomit minerallerinin standart grafiğ

Çizelge 3. Beyyazı agregasının elek analizi sonuçları

Elek Göz Açıklığı (mm)	0-4 mm			4-12 mm			12-22 mm		
	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen	Küm. Kalan (gr)	% Kalan	% Geçen
22,4	-	-	-	-	-	-	0	0	100
16	-	-	-	-	-	-	1240	77.80	22.21
11,2	-	-	-	31	2.92	97.08	336	98.90	1.13
8	-	-	-	533	53.10	46.94	18	100	0
5,6	-	-	-	413	91.90	8.10	-	-	-
4	14	1.73	98.27	86	100	0	-	-	-
2	256	33.46	66.54	-	-	-	-	-	-
1	165	53.90	46.10	-	-	-	-	-	-
0,5	118	68.53	31.47	-	-	-	-	-	-
0,25	84	78.93	21.07	-	-	-	-	-	-
0,125	79	88.72	11.28	-	-	-	-	-	-
0,063	55	95.54	4.46	-	-	-	-	-	-
Tava	36	100	0	-	-	-	-	-	-
Toplam	807	-	-	1063	-	-	1594	-	-



Şekil 6. Kıрма taş mermer agregasına ait granulometri eğrisi

3.3.2 İncelik modülü

İncelik modülü, agreganın gradasyonunun bileşimi hakkında bilgi veren tek sayıdır. İncelik modülü delik açıklığı birbirinin iki misli artan elekler üzerinde kalan malzemenin yığışlımlı yüzdeler toplamının yüze bölünmesiyle elde edilen rakamdır. Agregataneleri küçüldükçe incelik modülü azalır, taneler irileştikçe incelik modülü büyür (Erdoğan, 2003). Elek analizi deneyi sonucu her elek üzerinde kalan agregaların yığışlımlı ağırlık yüzdeleri toplanarak yüze (100) bölünmesi ile İncelik Modülü (İM)

bulunur. Beton karışım hesaplarında ince agreganın incelik modülü kullanılmaktadır. Mermer agregasının ortalama incelik modülü %4.21 bulunmuştur. İncelik modülü sıfır ile granulometri deneyinde kullanılan elek sayısı arasında değerler olabilir. İncelik modülü sonucu şu şekilde yorumlanır: Değer büyükse elekler üzerinde kalan malzeme çoktur. Yani malzeme iridir. Değer küçükse malzemenin çoğu eleklerden geçmiştir. Yani malzeme incedir.

3.3.3 Çok ince malzeme muhtevası

Çok ince malzeme muhtevası, TS 706 EN 12620'ye göre ince agreganın toplam ince malzeme muhtevasının %3'ten veya agreganın kullanıldığı yerde geçerli olan mevzuata göre belirtilmiş olan başka bir değerden daha az olması durumunda zararsız olarak kabul edilmektedir. Çok ince malzeme muhtevası yüksek oranlara ulaştığı takdirde beton mukavemeti azalması, betonda su ihtiyacının artması, betonun işlenebilmesi, betonun büzülmesi şeklinde olumsuz etkilere yol açmaktadır.

Mermer numunesinde çok ince malzeme muhtevası değerleri, iri agregalarda (12-22 ve 4-12 mm) ortalama olarak %0.75 ve %0.71 bulunmuştur. En ince agrega olan 0-4 mm numunenin ise ortalama olarak çok ince malzeme muhtevası %12.1'dir (Çizelge 4). Çok ince malzeme muhtevası, ilgili kategoriye uygun olarak, iri agregalar için $f_{1,5}$ ince malzemeler için de f_{16} , bulunmuştur. Sonuçlar; iri agregalarda %4'den, ince agregalarda ise %22'den az olduğu için TS 706 EN 12620'ye uygun bulunmuştur.

3.3.4 Sıkışık ve gevşek yığın yoğunluğu tayini

Doğal agregaların sıkışık yığın yoğunluğu yaklaşık olarak 1500 ile 1900 kg/m³ arasındadır. Bu değerler agreganın

mineralojisine, nem ve kuruluşuna göre farklılık gösterir (Şimşek, 2007). Testler, en az üç numune üzerinde tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir. Çizelge 5'de görüldüğü üzere mermer agregaları genel olarak beton için gerekli yığın yoğunluğu sınır değerleri içerisinde yer almaktadır. İri agregalar (12-22 ve 4-12 mm) ortalama 1563 ve 1601 kg/m³ değerlerine sahiptir, 0-4 mm boyutlu ince agrega ise 1878 kg/m³ değeri ile üst sınıra yaklaşmıştır.

Gevşek yığın yoğunluğu, agreganın tane şekli ve yoğunluğuyla yakından ilgilidir. Agregada içerisinde bulunan kusurlu tane oranı arttıkça boşluk miktarı artar ve gevşek yığın yoğunluğu da düşer. Agreganın boşluklu olması, betonun dış etkenlere karşı dayanımını olumsuz olarak etkileyeceğinden bunu önlemek için taneler arası boşluk hacmi ve tane granülometri eğrisinden yararlanılarak betonun boşluğu azaltılabilir. Çizelge 5'de görüldüğü gibi, gevşek yığın yoğunluğu değerleri ortalamaları sırasıyla 1 numaralı iri agrega için 1371 kg/m³, 2 numaralı iri agrega için 1457 kg/m³ ve ince agrega için ise 1742 kg/m³ olarak bulunmuştur. Yığın yoğunluğu değerleri dikkate alındığında agregalar referans değerler arasında olup beton yapımında kullanılabilir özelliktedir.

Çizelge 4. Beyyazı agregasına ait çok ince malzeme muhtevası değerleri,

Agrega Boyutu (mm)	Deney Numunesinin ilk kuru ağırlığı, (g) (M ₁)	Yıkanan deney numunesinin kuru ağırlığı, (g) (M ₂)	0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen kütlece yüzde (%) (M _v)	Ortalama Değer (%)
22,4-11,2	2000	1984	0.80	0.75
	2000	1986	0.71	
	2000	1985	0.79	
4-11,2	2002	1988	0.71	0.71
	2002	1989	0.70	
	2001	1987	0.73	
0-4	1000	880	12.0	12.1
	1001	872	12.8	
	1000	884	11.6	

Çizelge 5. Beyyazı agregalarına ait sıkışık ve gevşek birim ağırlık değerleri

Agrega sınıfı	Agrega Boyutu (mm)	Gevşek yığın yoğunluğu (kg/m ³)	Referans Değer (kg/m ³)	Sıkışık yığın yoğunluğu (kg/m ³)	Referans Değer (kg/m ³)
İri agrega	22.4-11.2	1371	≥1250	1563	
İri agrega	4-11.2	1457	≥1250	1601	
İnce agrega	0-4	1742	≥13250	1878	

3.3.5 Özgül ağırlık ve su emme deneyi

TS EN 1097-6'ya göre uygun olarak hazırlanan numunelerle gerçekleştirilen testlerde özgül ağırlık ve su emme değerleri; iri ve ince agregalar için 3 deney ortalaması Çizelge 6'da verilmiştir.

Özgül ağırlıklar, iri agregalar (4-11.2 ve 11.2-22.4 mm) için 2.72 ve 2.79 kg/m³, ince agregalar (0-4 mm) için ise 2.69 kg/m³'dür. TS EN 206-1 standardının öngördüğü limit özgül ağırlık değerleri 2.50-2.70 kg/m³ arasında olduğundan, araştırmaya konu iri ve ince agregalar önerilen sınır değerleri içinde yer almaktadır. Agregaların yüksek özgül ağırlık değerlerine sahip olması, boşluksuz ve sağlam olarak değerlendirildiğinden

dolayı incelenen agregaların kaliteli olduğu söylenebilir ve beton yapımında kullanılabilir.

Beton yapımında kullanılacak agregaların %10 su emme oranını geçmemesi istenmektedir. Agregaların su emme değerleri, dona karşı mukavemeti ve dayanımı etkilemektedir. Agreganın tane özgül ağırlığı ve su emme oranı, esas olarak beton karışım hesaplarında kullanılmaktadır. Su emme oranı 22.4-11.2 mm ve 11.2-4 mm boyutunda yer alan iri agregalar için sırasıyla %0.86 ve %1.56, 4-0 mm boyut aralığında yer alan ince agregalar için %2.17'dir.

Çizelge 6. İri ve ince agregaların ortalama özgül ağırlık ve su emme oranları.

Agrega Boyutu (mm)	Doygun Kuru Yüzey Ağırlığı (M ₁) (gr)	Ölçü Kabı, Su ve Numune Ağırlığı (M ₂) (gr)	Ölçü Kabı ve Su Ağırlığı (M ₃) (gr)	Etüv Kuru Numune Ağırlığı (M ₄) (gr)	Kuru Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme (%)
0-4 mm	502.33	3042.67	2723.00	491.67	2.69	2.75	2.86	2.17
4-11.2 mm	912.67	3305.00	2723.00	899.00	2.72	2.76	2.84	1.56
11.2-22.4 mm	1302.33	3562.67	2723.00	1291.33	2.79	2.82	2.86	0.86

3.3.6 Yassılık indeksi deneyi

Agrega tanelerinin şekli, taze betonun işlenebilme özelliğini doğrudan etkilemektedir. Yassılık indeksi için üst limit %55 dir ve agregaların bu değeri aşması istenmez. Agregaların yassılık indeksinin tayini agregalarda, tane büyüklüğü 4 mm ile 80 mm arasında olan agregalarda aranan bir özelliktir. Agregalar tanelerinin şeklini

belirlemek için şekil indisi deneyi TS 9582 EN 933-3'e göre yapılmıştır. Beyyazı agregaları %14.6 yassılık değerine sahiptir (Çizelge 7). Bu yassılık indeksi değeri ile TS 706 EN 12620 standardına göre FI₁₅ kategorisinde yer almaktadır. Çıkan sonucun, sınır değerini altında olması nedeniyle mermer agregaları beton yapımında kullanılabilir özelliktedir.

Çizelge 7. Beyyazı agregalarının yassılık endeksi değeri

Numune No	Deneye Giren Toplam Malzeme Miktarı (gr)	Yassı Malzeme Miktarı (gr)	Yassılık Endeksi Değeri (%)	Ortalama Yassılık Endeksi FI (%)
1	1202	172	14.3	14.6
2	1040	150	14.4	
3	1168	179	15.3	

3.3.7 Metilen mavisi deneyi

Metilen mavisi deneyi malzeme içerisindeki kirlilik, kil oranını göstermektedir. Sadece ince malzemeye uygulanan bu deneyde üst limit %1.5 değeridir. Bu değer üstündeki malzeme killi kabul edilir ve beton üretiminde kullanılamaz. 0-2 mm boyutunda beher kilogramı başına tüketilen boyanın gram cinsinden ifadesi olan metilen mavisi değeri belirlenir. Mermer numunesinde kil varlığını tespit için, üç ayrı örnekte de 10 ml metilen mavisi çözeltisi yeterli olmuştur (Çizelge 8). Deneylerde sırasıyla sonuçlar, %0.50, %0.49 ve %0.47 olarak bulunmuştur. Metilen mavisi sınır değeri (MB) (%)1 olmasından dolayı bu durum, agreganın ince madde içermediğine işaret etmektedir. Ayrıca çok ince malzeme muhtevası değerinin de düşük olması metilen mavisi sonucunu desteklemektedir.

3.3.8 Los Angeles (Aşınma) deneyi

Agreganın aşınmaya karşı dayanıklılığını tespit etmek amacıyla yapılan bir deneydir. Kaba agreganın aşınması, aşındırıcı bir yük kullanarak Los Angeles makinesi ile tayin edilmektedir. Beton agregalarında TS 706 EN 12620 standardına göre tamburun 500 devir dönmesi sonucunda oluşan aşınma dayanımları maksimum %50 olmalıdır. Los Angeles test sonuçları ve standartta belirtilen kategori Çizelge 9'da verilmiştir. Yapılan üç aşınma deneyinin aşınma oranı ortalaması, 11.2-22.4 mm boyutu için %22.9, 4-11.2 mm boyutu için %23.8 olarak bulunmuştur. Buna göre; Los Angeles katsayısı, LA₂₅ kategorisine uymaktadır. Bu değerler ile mermer numuneleri Los Angeles sınır değerleri altında yer almakta ve beton üretiminde kullanılabilirlerdir.

Çizelge 8. Beyyazı numunesine ait metilen mavisi değeri

Numune No	Deneye Giren Numune Miktarı (gr)	İlave Edilen Metilen Mavisi Çözeltisi (ml)	Metilen Mavisi Değeri (MB) (%)	Metilen Mavisi Sınır Değeri (MB) (%)
1	200	10	0.50	1
2	202	10	0.49	
3	205	10	0.47	

Çizelge 9. Beyyazı agregalarının Los Angeles aşınma dayanım değerleri

Agrega Boyutu (mm)	Numune No	İlk Ağırlık (M ₁) (gr)	1,6 mm'lik Elekte Kalan (M ₂) (gr)	Aşınma Oranı (%)	Ortalama Aşınma Oranı
11.2-22.4	1	5000	3864	22.7	22.9
	2	5000	3813	23.7	
	3	5000	3885	22.3	
4-11.2	1	5000	3843	23.2	23.8
	2	5000	3798	24.1	
	3	5000	3804	23.9	

3.3.9 Donma ve çözülme karşı direnç

Agreganın Magnezyum Sülfat (Mg_2SO_4) çözeltisi ile donma ve çözülme etkisine maruz bırakılması halinde gösterdiği direncin tayini TS EN 1367-2 (2011) standardına uygun olarak yapılmış olup sonuçlar Çizelge 10'da verilmiştir. Mermer agregalarında 11.2-22.4 mm boyutlu iri numunenin donma-çözünme dayanıklılık değeri ortalama %6.78, biraz daha ince olan 4-11.2 mm boyutlu numunenin değeri ise %13.69 bulunmuştur. Genel olarak yapılan deneyde, ince boyutlu olan numunelerde donma- çözünme dayanıklılık değeri iri agregalara göre, yüzey alanı arttığı ve gözeneklerin daha çok meydana çıkarak temas yüzdesi artırdığı için daha fazla olduğu görülmektedir. Her iki boyutlu numunede M_{18} kategorisinde yer alır. Bu değerler standartlarda üst limiti olarak öngörülen %35 dona dayanıklılık değeri altındadır ve beton yapımı için uygundur.

Çizelge 10. Beyyazı agregalarının dona dayanıklılık değeri

Agrega Boyutu (mm)	İlk Ağırlık (gr)	Elekte Kalan (gr)	Kütle Kaybı Oranı (%)	Ortalama Değer (%)
4-11.2	437	372	14.87	13.69
	422	364	13.7	
	416	364	12.5	
11.2-22.4	415	382	7.95	6.78
	413	389	5.81	
	409	382	6.62	

3.3.10 Organik madde tayini deneyi

Agregada organik madde tayini deneyi TS EN 1744-1 standardı kullanılarak yapılmıştır. Agregada içinde çürümüş bitki kökleri, meyveleri veya yaprakları çeşitli asit ve türevlerini oluşturur. Agregada içindeki organik kökenli maddenin çok olması durumunda katılaşması gecikir veya gerçekleşmeyebilir. Buda betonun ilk günlerdeki dayanımını olumsuz yönde etkiler.

Organik madde tayini için agregada bir cam şişe içinde sodyum hidroksit ($NaOH$) ile birlikte çalkalanır. Çökelen agregada üzerindeki sıvıda oluşan renklenme organik madde miktarı hakkında bilgi verir. Bitkisel maddelerin varlığı gözle anlaşılmaz, bu nedenle bir miktar agregada üzerine 200 cm^3 hacme yükselinceye kadar %3'lük $NaOH$ eriyiği doldurularak 24 saat bekletilir. Bu bekleminin sonunda eriyiğin renginin berrak ve açık sarı olması halinde, mevcut maddelerin zararsız miktarda olduğu kabul edilir (Özişik, 2000).

Mermer numunesinin üzerinde oluşan eriyik renksizden açık sarıya doğru değişim göstermiştir. Bu da renk skalasına göre 1-2 referans değerler arasında olduğunu göstermektedir. Mermer numunesi organik madde bakımından beton yapımında uygundur denilebilir.

3.3.11 Suda çözünebilir klorür tayini

Klorürler, agregada kaynağına bağlı olarak, agregalarda sodyum ve potasyum tuzları halinde bulunabilirler. Bu tür tuzlar, betonun toplam klorür ve alkali muhtevasını artırır. Betonun ihtiva ettiği metalin korozyon riskini en aza indirmek amacıyla, betondaki bileşen malzemelerin tümünün dikkate alındığı toplam klorür miktarının sınırlandırılması genel bir uygulamadır. Suda çözünebilir klorür miktarı deneyi TS EN 1744-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda numuneler içerisinde klorür miktarları sınır değerinin (%0,01) altında, eser miktarda (%0,0047) bulunmuştur.

3.3.12 Asitte çözünebilir sülfat tayini

Agregalarda bulunan sülfatlar betonda ivmeye bağlı hasara sebep olabilirler. Belirli şartlar altında agregalarda mevcut olan diğer kükürt bileşikleri, sülfatları oluşturmak üzere beton içinde indirgenebilirler. Asitte çözünebilir sülfatlar TS EN 1744-1 standardında madde 12'ye göre tayin edilmiştir.

Asitte çözülebilir sülfat muhtevası kütlece yüzde %0.04 olup $AS_{0,2}$

kategorisinde yer almaktadır. Asitte çözülebilen sülfat miktarı kütlece %0.8 değerini aşmamalıdır. TS 706 EN 12620 standardına göre yapılan değerlendirmede agregalar asitte çözülebilen sülfat miktarı bakımından kullanıma uygundur.

3.3.13 Toplam kükürt miktarının tayini

Toplam kükürt TS EN 1744-1 madde 11'e uygun olarak tayin edilmiş olup, %0.035 bulunmuştur. Bu değer, TS 706 EN 12620'da verilen %2'lik sınır değerinin altında olup, kükürt miktarı bakımından kullanıma uygundur.

3.3.14 Alkali silika reaktivitesi (ASR)

Alkali silis reaktivitesi (ASR), beton agregalarında bulunan reaktif silis ile betonun boşluk çözeltisinde bulunan hidroksil ve alkali iyonlarının reaksiyonudur. Bu reaksiyon, betonda nem etkisiyle gelişen alkali-silis jelinin oluşmasına neden olur. Betonda genişleme sonucu meydana gelen çekme gerilmeleri çatlamaya yol açar (Kambiz, 2013). Betondaki alkali miktarı arttıkça ASR potansiyeli de artar. ASR'nin artması sülfat etkileri, tabii don, donma ve çözülmenin etkilerinin hızlanarak artmasına neden olur (Arslan, 2001).

Alkali-agrega reaktivitesinin belirlenmesi amacıyla birçok standart geliştirilmiştir. Mevcut yöntemler arasında en çok kullanılanı harç çubuklarının denendiği yöntemdir. ASR deneyi ASTM C 1260-94 standardına göre yapılmıştır ve standartta verilen sınırlamalara göre değerlendirilmiştir.

•Güvenli bölge: Genişleme değeri %0.1'in altındaysa ASR problemi yoktur.

•Şüpheli bölge: Genişleme değeri %0.1 ile %0.2 arasındaysa ASR riski muhtemeldir.

•Tehlikeli bölge: Genişleme değeri %0.2 değerinin üzerinde ise ASR açısından tehlikelidir.

Deneyle, mermer agregalarının çimento hamuruyla oluşturabileceği reaksiyon sonucu, genişlemesine bağlı olarak boy uzamaları belirlenmiştir. Deneyler, üç numune üzerinde tekrarlanmıştır. Mermer agregalarında, harç çubuğu deney yöntemine göre 21 günlük genişleme oranı ortalaması %0.03 olarak bulunmuştur. Genişleme oranı

değeri %0.1 değerinin altında olduğu için alkali silika değeri bakımından güvenli bölgede bulunmaktadır.

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada, malzeme karakterizasyonu için numunelere mineralojik ve petrografik analizler (polarizan mikroskop, XRD ve SEM-EDX), ve kimyasal analizler uygulanmıştır. Agregada numuneleri, 0-4, 4-11.2 ve 11.2-22.4 mm boyutlarına sınıflandırılmış ve bunlara standartlara uygun test ve deneyler yapılarak agregada olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Beyyazı agregada numunesinin petrografik ve mineralojik inceleme sonuçlarına göre, kalsit ve dolomit minerallerinden meydana geldiği belirlenmiş olup kayaca dolomitik mermer tanımlaması yapılmıştır. Bu sonuç XRD ve kimyasal analiz verileriyle desteklenmiştir.

Elek analizleri TS 3530 EN 933-1 standardına uygun olarak yapılmış ve granülometri eğrileri çizilmiştir. Beyyazı agregalarına yapılan elek analizi sonucunda çıkan granülometri eğrileri, TS EN 706 standardı granülometri eğrisi sınırları içerisinde kalmaktadır. Beyyazı agregasının ortalama incelik modülü %4.21 bulunmuştur. Çok ince malzeme muhtevası değerleri, iri agregalarda (11.2-22.4 ve 4-11.2 mm) ortalama olarak %0.75 ve %0.71 bulunmuştur. 0-4 mm numunenin ise ortalama olarak çok ince malzeme muhtevası %12.1'dir. Sonuçlar; iri agregalarda %4'den, ince agregalarda ise %22'den az olduğu için TS 706 EN 12620'ye uygundur.

Beyyazı agregaları genel olarak beton için gerekli yığın yoğunluğu sınır değerleri içerisinde yer almaktadır. İri agregalar (11.2-22.4 ve 4-11.2 mm) ortalama 1563 ve 1601 kg/m³ değerlerine sahiptir, 0-4 mm boyutlu ince agregada ise 1878 kg/m³ değerine sahiptir.

Özgül ağırlıklar, iri agregalar (4-11.2 ve 11.2-22.4 mm) için 2.72 ve 2.79 kg/m³, ince agregada (0-4 mm) için ise 2.69 kg/m³'dür. TS EN 206-1 standardının öngördüğü limit özgül ağırlık değerleri 2.50-2.70 kg/m³ arasında olduğundan, iri ve ince agregalar önerilen sınır değerleri içinde yer almaktadır.

Su emme oranı 22.4–11.2 mm ve 11.2–4 mm boyutunda yer alan iri agregalar için sırasıyla %0.86 ve %1.56, 4–0 mm boyut aralığında yer alan ince agregalar için %2.17 dir.

Yassılık indeksi, tane büyüklüğü 4 mm ile 80 mm olan agregalar için önemlidir. Mermer agregalarının yassılık değeri %14.6 olarak bulunmuştur. Bu yassılık indeksi değeri ile TS 706 EN 12620 standardına göre FI₁₅ kategorisinde yer almaktadır.

Los Angeles (Aşınma) deneyinde, aşınma oranı 11.2-22.4 mm boyutu için %22.9, 4-11.2 mm boyutu için %23.8 olarak bulunmuştur. Buna göre; Los Angeles katsayısı, LA₂₅ kategorisine uymaktadır.

Beyyazı agregalarında 11.2-22.4 mm boyutlu iri numunenin donma-çözünme dayanıklılık değeri ortalama %6.78, biraz daha ince olan 4-11.2 mm boyutlu numunenin değeri ise %13.69 bulunmuştur. Donma ve çözülmeye karşı direnç her iki boyutlu numunede M₁₈ kategorisinde yer almaktadır.

Alkali silis reaksiyonu (ASR) mermer agregaları için %0.03 olarak bulunmuştur. %0.1 değerinin altında olduğu için alkali silika değeri bakımından güvenli bölgede bulunmaktadır. Betonda gelişebilecek diğer bir reaksiyon da Alkali-Karbonat reaksiyonudur. Alkali-karbonat reaksiyonu yapan kayaçlar killi ve son derece ince taneli dolomitlerdir. Ayrıca dolomit oranının %50 üzerinde olduğu dolomitik kayaçlardır. Beyyazı agregalarının kimyasal analizlerde CaO %35.16 iken MgO %17.72 oranlarında olup tehlikeli sınırlar dışındadır.

Bunların dışında yapılan metilen mavisi, organik madde tayini, suda çözünebilir klorür tayini, asitte çözünebilir sülfat tayini, toplam kükürt miktarının tayini gibi sonuçları da mermer numunesinin agrega olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Standarta uygun olarak kırma taş ocağından alınan numuneler, boyut küçültme, numune azaltma ve boyuta göre sınıflandırma işlemine tabi tutulduktan sonra iri (11.2-22.4 mm ve 11.2-4 mm) ve ince (0-4 mm) agrega olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan numunelere uygulanan petrografik ve mineralojik, kimyasal, fiziksel

testler ve/veya analizler sonucunda; Beyyazı yöresi karbonatik kayaçların “TS 706 EN 12620 Beton Agregaları” standardında aranan özelliklere uygun olduğu ve kırmataşların, hazır betonda beton agregası olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akman, S, 1977. Yapı malzemeleri, *İ,T,Ü Cilt 35, Sayı 3*, İstanbul.
- Arslan, M, 2001. *Beton (Dökümü, kalıpları, kusurları, dayanıklılığı)*. Atlas Yayınları, İstanbul.
- ASTM, 1997. ASTM C 1260-94: Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates, *Annual Book of ASTM Standards; Section Concrete and Mineral Aggregates*, Philadelphia.
- Erdoğan, Y,T, 1995. *Betonu oluşturan malzemeler Agregalar*, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.
- Erdoğan, T, Y, 2003. *Beton*, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- Kambiz, R, 2013. Betonda alkali-silis reaksiyonu bir derleme (Çağrılı Bildiri) *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi*, 21-23 Şubat İstanbul, ss 289-311.
- Kocataşkın, F, 1991. Betonun dünü bugünü yarını, *2, Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, Kardeşler Matbaası, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası s.23–42*.
- Özişik, G, 2000. *Beton*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Şimşek, O, 2007. *Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri*, Gazi Üniversitesi Yayınları, Ankara.
- Şengül, Ö, Taşdemir, C, Koruç, Ş, Yüceer, Z, 2003. Agregat türünün farklı beton sınıflarının aşınma dayanımına etkisi, *5, Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, s.525–534*, İstanbul.
- TS 706 EN 12620, Türk Standartları, 2003. *Beton agregaları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,
- TS 707, Türk Standartları, 1980. *Beton agregalarında numune alma ve deney numunesi hazırlama yöntemi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206-1, 2002, *Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 932-2, Türk Standartları, 1999. *Agregaların genel özellikleri için deneyler bölüm 2: laboratuvar numunelerin azaltılması metodu*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-9, Türk Standartları, 2001. *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 9: İnce tanelerin tayini- Metilen mavisi deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-2, Türk Standartları, 2000. *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm*

- 2: *parçalanma direncinin tayini için metotlar*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-3, Türk Standartları, 1999. *Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-5, Türk Standartları, 2001. *Hava dolaşımı etüvde kurutma ile su muhtevasının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, Türk Standartları, 2002. *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6:tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-2, Türk Standartları, 2011. *Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler bölüm 2: magnezyum sülfat deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1744-1, Türk Standartları, 2010. *Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler- bölüm 1: kimyasal analiz*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3530 EN 933-1, Türk Standartları, 1999. *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: tane büyüklüğü dağılımı tayini-eleme metodu*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 5694 EN 12670, Türk Standartları, 2004, *Doğal taşlar - Terimler ve tarifler*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 9582 EN 933-3, Türk Standartları, 1999. *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 3: Tane şekli tayini yassılık endeksi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10088 EN 932-3, Türk Standartları, 1997. *Agregaların genel özellikleri için deneyler kısım 3: basitleştirilmiş petrografik tanımlama için işlem ve terminaloji*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yıldırım, M, Yılmaz, I, 2002. Yıldız ırmağı çökellerinin beton agregası olarak Kullanılabilirliklerinin incelenmesi, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri C,19, S,2,s, 181 -192*, Sivas.
- Yılmaz, A,O, ve Arıoğlu, E, 2006. Taşocağında üretim maliyetlerinin matematiksel modelinin oluşturulması ve örnek uygulama, *IV, Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, Ed: A,E, Yüce, C, Kuzu, A, Güney ve M, Erdoğan, İstanbul, 265-276.
- Zimbelmann, R, 1989. A contribution to the problem of cement – aggregate bond, *Cement and Concrete Research*, 15:801-808.

Ankara Mamak Yöresindeki Kireçtaşlarının Beton ve Asfalt Agregası Olarak Değerlendirilmesi

Evaluation of Limestones of Mamak Region as Concrete and Asphalt Aggregate

R. Soypak

Ankara Büyükşehir Belediyesi, İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı, Ankara

A. Kayabaşı

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Meşelik, Eskişehir

ÖZET Ankara **Mamak** yöresinde farklı jeolojik yaş ve özelliklerdeki kireçtaşları yüzeylenmektedir. Bu kireçtaşlarında kamu ve özel sektörün açtığı taşocakları vardır. Bu çalışmada Ankara Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilen Eski Kıbrıs taşocağı ve Yeni Kıbrıs taşocağı olarak isimlendirilen kireçtaşı taşocaklarından alınan agrega örneklerinin beton ve asfaltta kullanım özellikleri incelenmiştir. Eski Kıbrıs taşocağında yüzeyleyen kireçtaşları Orta-Üst Triyas yaşlı Keçikaya Formasyonuna ait kireçtaşlarıdır. Yeni Kıbrıs taşocağında ise Permian yaşlı kireçtaşı blokları yüzeylenmektedir. Yapılan ince kesitlerden kireçtaşlarının petrografik özellikleri belirlenmiştir. Agrega örneklerinde elek analizi, gevşek ve sıkı yoğunluk, özgül ağırlık, su emme oranı, donma çözülme dayanımı, aşınma dayanımı, yassılık indeksi deneyleri yapılmıştır. Örneklerin kimyasal özellikleri, homojenlikleri, alkali silika aktivitesi, ateşte zayıt (LOI) değeri laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir. Taş ocaklarında yapılan Schmidt çekici deneyleri ile kaya kütleinin yüzey dayanımı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda her iki taşocağında yüzeyleyen kireçtaşı kaya kütlelerinin petrografik, kimyasal ve mühendislik özelliklerinin beton ve asfalt olma standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir.

ABSTRACT Different geologic aged and property limestones are outcrop at Ankara Mamak region. There are many quarries in these limestones, managed by government and private sector. In this study, the limestone aggregate samples taken from quarries named as Eski Kıbrıs and Yeni Kıbrıs rock quarries, managed by Ankara Municipality, are evaluated for being used as concrete and asphalt aggregates. Middle-Upper Triassic-aged limestone of Keçikaya formation outcrops at Eski Kıbrıs quarry. Permian-aged, limestone blocks outcrop at Yeni Kıbrıs quarry. Petrographical properties of limestones were determined from thin sections. Sieve tests, loose and compacted bulk density test, specific gravity test, water absorption test, freezing and thawing test, Los Angeles abrasion test, flakiness percentage and index test were performed. The chemical composition, homogeneity, alkali silicate reactivity, loss of ignition values are determined at laboratory. The rock mass surface strength were determined by using Schmidt hardness tests were carried out at rock quarries. The results of the study showed that the petrographic, chemical and engineering properties of Limestones outcrop at both rock quarries are suitable for asphalt and concrete production.

1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı ile günümüzde Ankara'nın nüfusu beş milyonu aşmış olup, il sınırları içerisinde yaşayan yurttaşların ihtiyaçları olan konut, hastane, yol, tünel, altyapı tesisleri, köprü, hava alanı, baraj ve gölet gibi mühendislik yapılarının inşası için gerekli olan hammadde agregadır.

Bu yapıların üretilmesinde önemli bir hammadde girdisi olan agrega, kentin gelişmesi ile daha çok talep edilmektedir. Ankara kentinin ihtiyacı olan agreganın bir bölümü Mamak bölgesindeki taşocaklarından üretilmektedir (Şekil 1).



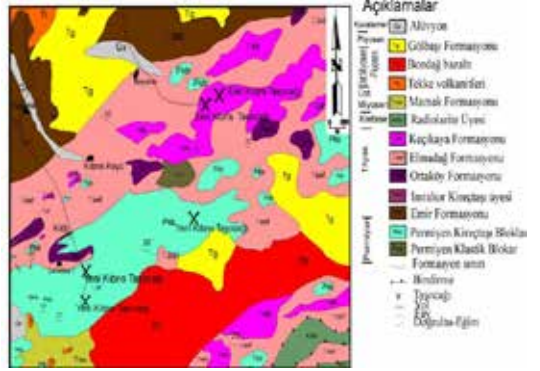
Şekil 1. Yer bulduru haritası

Bu çalışma ile Mamak bölgesinde işletilen taş ocaklarında üretilen agregaların niteliğini belirlenmiş ve elde edilen deney sonuçları British Standart 812 ve Türk Standartları 706 (Avrupa Birliği 12620; Beton Agregaları) standartları ile karşılaştırılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE ÇEVRESİNİN GENEL JEOLJİSİ

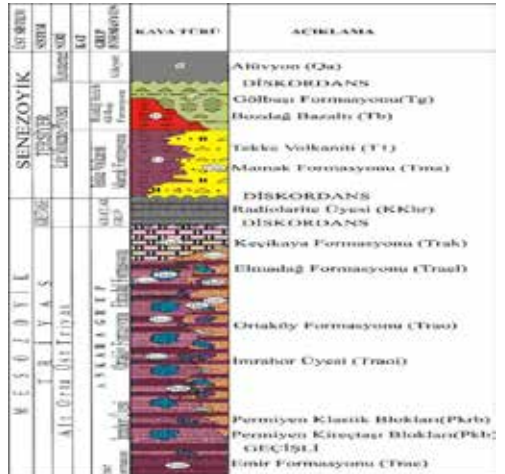
Bu çalışmada en yaşlıdan gence doğru sırasıyla Erken – Geç Triyas yaşlı Emir formasyonu, Erken – Geç Triyas yaşlı Elmadağ formasyonu, Orta – Geç Triyas yaşlı Ortaköy formasyonu, Ortaköy formasyonu içindeki Permiyen yaşlı İmrahor kireçtaşı üyesi, Permiyen yaşlı kırıntılı blokları, Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları Orta–Geç Triyas yaşlı Keçikaya formasyonu, Üst Jura – Erken Kretase yaşlı Akbayır formasyonu izlenir. Ayrıca Jura – Kretase

yaşlı Gabro çalışma alanında çok az izlenir (Şekil 2).



Şekil 2. Taşocakları jeoloji haritası (Akyürek vd., 1996)

Pliyosen yaşlı Gölbaşı formasyonu ve mil, kum ve çakıldan oluşan alüvyonlar en genç çökellerdir. Orta –Geç Triyas yaşlı Keçikaya formasyonu (Akyürek vd., 1982) tarafından isimlendirilmiştir. Çalışma alanında, formasyon Batı - Kuzey Doğu boyunca şerit şeklinde yüzeylenir. Keçikaya formasyonuna ait irili, ufaklı bloklar Elmadağ formasyonu içinde izlenir. Keçikaya formasyonu kireçtaşı ve kumlu kireçtaşından oluşur (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı stratigrafik dikme kesiti (Akyürek vd., 1984'den değiştirilerek alınmıştır.)

Formasyon ince tabakalı, beyaz – gri renkli yer yer kristalize ve yer yer dolomitleşmiş olup, gri seviyeleri bol fosillidir. Keçikaya formasyonunda çatlaklar yer yer 2-8 milimetre boyutundan 1-2 santimetre boyutuna kadar gelişmiş olup, çatlaklar genellikle kalsit, bazılarında ise kil dolguludur.

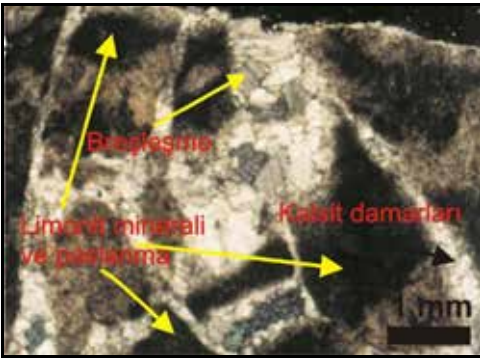
Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları ise çekim kuvvetleri etkisi ile bloklar halinde Emir ve Elmadağ formasyonları çökeltme ortamına gelmişlerdir.

Kireçtaşı bloklarının rengi koyu gri, açık gri – koyu gri arasında değişir. Birim ince, orta tabakalı ve az kristalize olup kireçtaşı bloğundaki çatlakların açıklığı bazen milimetre bazen santimetre boyutunda, genellikle kalsit dolgululu olup, yer yer kil dolguludur.

Taşocakları Çalışma alanındaki Keçikaya formasyonu ve Permiyen yaşlı kireçtaşı bloklarında açılmıştır.

3. KİREÇTAŞLARININ PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

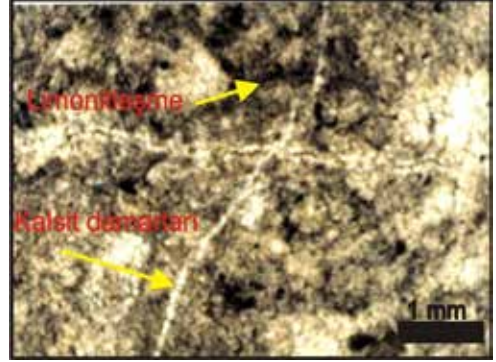
Permiyen yaşlı kireçtaşı bloklarından alınan el örneklerinden yapılan ince kesit incelemelerinde; Mikrokristalen taneli, çatlak aralıklarında kalsit damarcıkları ve mikritleşmiş fosil kavkı izleri, gözlenir. Yer, yer çok yaygın olarak damarcıklar boşluk dolgusu halinde ikincil sparitik kalsitle dolmuştur. Yapısal hareketlerden bağlı olarak breşleşme izleri, ufalanmalar gözlenmiş, breşleşmeye limonitleşme eşlik etmektedir.



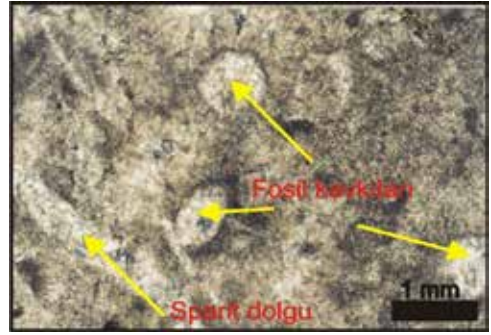
Şekil 4. Yeni Kıbrıs taşocağından alınmış kireçtaşının mikroskop altındaki görünümü

Keçikaya formasyonunda alınan el örneklerinden ince kesitler yapılmış olup, ince kesit incelemesinde çok ince kalsit damarları, fosil kavkı izleri bulunur. Çok az ikincil mikrokuvars oluşumları mevcuttur.

Kalsit damarı kısmen limonitleşmiştir. Kayaç mikritik dokuludur.



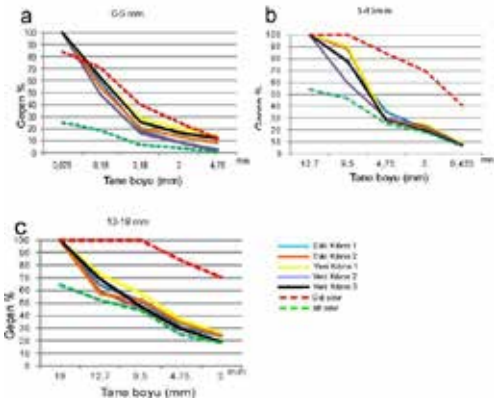
Şekil 5. Eski Kıbrıs taşocağından alınmış kireçtaşının mikroskop altındaki görünümü.



Şekil 6. Eski Kıbrıs taş ocağından alınmış fosil kavkı içerikli kireçtaşının mikroskop altındaki görünümü.

4. KİREÇTAŞLARININ MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Bu araştırmaya konu olan Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları ve Keçikaya formasyonu'na ait kireçtaşların kimyasal ve mühendislik özelliklerini tanımlamak üzere araziden toplanan el örnekleri ve işletilen taşocaklarında üretilen belli boyuttaki agrega numuneleri TS 707 (1980) standardına göre alınmış bu numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneyleri ile kireçtaşların ana oksit yüzdeleri, elek analizi, gevşek ve sıkı yoğunluk, özgül ağırlık(kuru özgül ağırlığı, kuru yüzey özgül ağırlığı, görünür özgül ağırlık ve su emme oranı donma çözülme dayanımı, aşınma dayanımı, yassılık indeksi deneyleri yapılmıştır. Çalışma alanında bulunan kireçtaşları üzerinde Schmidt çekici testleri de yapılmıştır.



Şekil 7. Beton ve asfalt yapılabilmesi için tane boyları alt ve üst sınırları (Demirel vd., 2003)

4.1 Kırmataşların Beton ve Asfalt agregası olarak kullanılabilirliği

Kentlerde nüfus artışına paralel agrega ihtiyacı artmakta olup, üretilecek agreganın standartlara uygun olması gerekmektedir. Üretilen agregalar üzerinde yapılan deney sonuçları çizelge 1, 2 ve 3' de verilmiştir.

Çizelge 1. Keçikaya formasyonu'na ait kireçtaşları (TS EN 1097-(2002), TS EN 1097-(1997)

Gevşek birim hacim ağırlığı			
Numune boyutu	1.Değer (kg/m ³)	2.Değer (kg/m ³)	≤5(kg/m ³)
0-5mm	1710	1714	4kg/m ³
5-13mm	1558	1561	3kg/m ³
13-19 mm	1420	1425	5kg/m ³
19-25mm	1406	1408	2kg/m ³

Sıkışık birim hacim ağırlığı			
Numune boyutu	1.Değer (kg/m ³)	2.Değer (kg/m ³)	≤5(kg/m ³)
0-5mm	1733	1731	2kg/m ³
5-13mm	1542	1545	3kg/m ³
13-19 mm	1434	1433	1kg/m ³
19-25mm	1427	1427	0kg/m ³

Çizelge 2. Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları (TS EN 1097-(2002), TS EN 1097-(1997)

Gevşek birim hacim ağırlığı			
Numune boyutu	1.Değer (kg/m ³)	2.Değer (kg/m ³)	≤5(kg/m ³)
0-5mm	1744	1743	1kg/m ³
5-13mm	1567	1571	4kg/m ³

13-19 mm	1440	1443	3kg/m ³
19-25mm	1411	1413	2kg/m ³

Çizelge 3. Schmidt çekicine göre kaya Sertliğinin sınıflandırılması (ISRM, 1978)

Değer	Tanım	E	Y
0-10	Yumuşak		
10-20	Az yumuşak		
20-40	Az sert		
40-50	Sert	41	40.4
50-60	Oldukça sert		
>60	Çok sert		

E: Keçikaya formasyonuna ait kireçtaşları
Y:Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları

Numune üzerine yapılan Schmidt çekici ile on değişik yerden vuruş değerleri okunmuş olup, büyük beş okumanın ortalaması alınmıştır. Kireçtaşları (ISRM, 1978) göre sert kayaç sınıfına girmektedir.

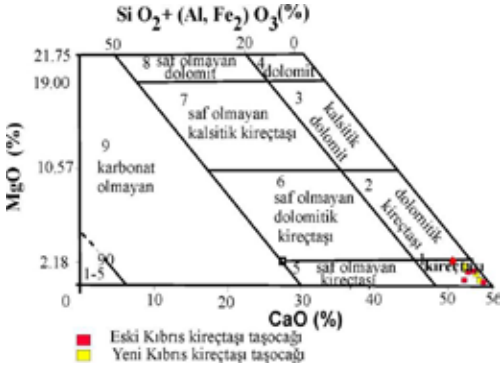
4.2 Kimyasal özellikleri

Ocaklardan alınan numunelerde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre MgO içeriğinin <3% olması beton üretimi için elverişlidir (Çizelge 4). Al₂O₃ içeriğininde <1% olması kil probleminin olmadığını gösterir. Kireçtaşı örneklerinin CaCO₃ miktarının %98-%99 arasında olması kireçtaşlarının saf olduğunu gösterir (Şekil 8)

Çizelge 4. Taşocaklarının kimyasal özellikleri

ÖA	MgO %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	CaO %	Fe ₂ O ₃ %	A.Za %
Y	0,6	<0,1	0,4	55,4	0,1	43,00
Y	0,4	<0,1	0,5	55,1	0,1	43,00
Y	1,3	<0,1	0,2	55,2	0,1	43,00
E	0,4	<0,1	0,3	55,4	0,1	43,00
E	0,4	<0,1	0,3	55,4	0,1	43,00

Not:numuneler 105 °C de kurutulmuştur. XRF analiz sonuçları ± %3 rölatif hata olabilir.



Şekil 8. Taşocaklarının saflıklarına göre sınıflandırılması (Elçi vd., 2014).

Kimyasal homojenlik: Saflık (%)= $100 \times \frac{100 - \%SiO_2 - \%(Al,Fe)_2O_3}{100}$ (Elçi vd., 2014)

5 BULGULAR VE TARTIŞMA

Yeni Kıbrıs ve Eski Kıbrıs taşocaklarından alınan agrega örneklerde yapılan elek analizi deney sonuçları, genellikle TS 707 standardına uygun bulunmuştur. Uygun olmayan deney sonuçları geçersiz sayılmış ve değerlendirmeye alınmamıştır.

Sıkışık / Gevşek iki birim hacim ağırlığı deney sonuçları arasındaki fark 0-5 kg/m³ bulunmuştur. İki deney sonucu arasındaki farkın ≥ 5 olmasından dolayı beton dayanımı açısından sakınca bulunmamaktadır. Taşocağında alınan agrega numuneleri üzerinde yapılan su emme deneylerinde en yüksek değer %1.01 bulunmuştur. TS EN 12620 (2003) göre su emme oranı üst sınırı %3' olarak verilmektedir. İnce agregada su emme oranının yüksek olması mikro çatlakların fazlalığını gösterdiği gibi su emme oranının agrega içindeki kil, mika ve fay zonların da arttığı belirlenmiştir (McNally, 1998; Güler, vd., 2010). Su emme değerinin % 2'den düşük olması durumunda ise yüksek dayanımlı beton üretilebilmektedir (Poitevin, 1999; Zarif vd., 2003).

Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları üzerinde yapılan Yassılık İndeksi tayini deney sonuçları % 20 civarında bulunmuştur. BS 812 (1985) göre üst sınır % 40' dir. Buna göre yassılık indeksi açısından bir sorun yaşanmayacaktır.

Agrega üzerinde yapılan metilen mavisi deney sonuçları genellikle % 1 altında bulunmuştur. Keçikaya formasyonunda açılan ocaklarda üretilen agregalar üzerinde yapılan deney sonuçları yer yer %1 altında bazı örneklerde ise % 1 üstünde değerler belirlenmiştir.

Betonda bulunan ince malzemedeki kil içeriğinin yüksek olması, betonda kıvam kaybı yanısıra gerektiğinden fazla su içeriği ve hacimsel değişimlere sebep olmaktadır (Higgs, 1986; Hasdemir 2004). Aynı şekilde kilin agregaya karışması durumunda, asfalt ve betonda hacimsel değişimlere, asfalt ve beton dayanımı düşmesine de neden olmaktadır.

Atmosferik ortamda kalan betonların donma ve çözülme mukavemeti önemli bir parametredir. Betondaki donma ve çözülme olayı, betonda tahribat oluşturur ve dayanıklılığı azaltır. TS EN 12620 (2003)'e göre su emme oranı % 1'in altında olması durumunda agregada donma ve çözülme olmayacağı kabul edilir. Agreganın dona karşı mukavemeti, agreganın gözenekliliği, su emme oranı ve boşluk yüzdesi ile doğru orantılıdır. Taşocaklarında üretilen agregalar üzerinde yapılan Donmaya ve çözölmeye karşı direnç tayini deney sonuçları % 0,6- %7,5 arasında bulunmuştur (TS EN 1367-1 2001). Donmaya ve çözölmeye karşı direnç tayini deney sonuçları düşük bulunduğundan beton ve asfaltta olumsuz bir etkisi olmayacaktır.

Los Angeles aşınma değeri, agreganın dayanımını kontrolde önemli bir parametredir. (Kazi ve Al- Mansour 1980; Zarif vd., 2003). Los Angeles aşınma değerini kayacın dokusu belirler. Tanelerdeki mikro çatlaklar ve mikro boşluklar kayacın aşınmasını ve dayanımını olumsuz etkiler. Kusurlu tane ve boşluk oranı yüzdesinin yüksek olması birim ağırlığın düşük olmasını sağlar. Eski Kıbrıs ve Yeni Kıbrıs taş ocaklarından alınan örneklerde yapılan Los Angeles aşınma deney sonuçları %20 dolayında bulunmuştur. TS EN 1097-2 (2000)'e göre Los Angeles aşınma değeri üst sınırı %50 olarak ifade edilmektedir. Los Angeles deney sonuçlarının düşük olması, tane dayanımının yüksek olduğunu gösterir.

İnceleme alanında bulunan kireçtaşı numuneleri üzerinde yapılan kimyasal analiz deney sonuçlarında CaO yüzdesi %55,1- %55,4 arasında belirlenmiştir. Şekil 8' göre inceleme alanındaki kireçtaşları saf kireçtaşları olarak sınıflandırılabilir. Kireçtaşlarının saflığı % 99 üstünde olduğundan (West 1996, Carlos vd., 2010)'e göre agregada alkali reaksiyonu riski gelişmemektedir.

Yeni Kıbrıs ve Eski Kıbrıs taş ocaklarından alınan kireçtaşı numuneleri üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre SiO₂ değerleri % 1'in altında bulunmuştur. West, (1996)'e göre SiO₂ içeriğinin %2'nin altında olması durumunda alkali silis reaksiyonu oluşmamaktadır. Önerilen Alkali silis abağına göre kireçtaşlarında SiO₂

arttıkça saflığı azalır. SiO₂ değerleri % 0-2 arasında ise zararsız bölge, % 2-5 arasında ise potansiyel tehlikeli bölge, %5'den büyük olması durumunda zararlı bölge olarak sınıflandırılmıştır. Kireçtaşları sert kayac olarak sınıflandırılmıştır.

6. SONUÇLAR

Kireçtaşları genellikle kompakt, mikritik, ince taneli yer yer fosilli ve ikincil kalsit damarlıdır. CaCO₃ miktarı %98-99 olup MgO % 0,1 den küçüktür. Al₂O₃ oranı 0,1 küçük olması malzemenin kil problemi olmadığını gösterir. Çalışma alanlarındaki kireçtaşı örneklerinin kimyasal analizi sonucunda CaCO₃ oranı %95 üstünde bulunması ve SiO₂ yüzdesinin % 2'den küçük bulunması nedeniyle alkali silis reaksiyonunun gelişmeyeceği belirlenmiştir.

İnce agrega ve iri agrega (kuru yüzey özgül ağırlığı, doygun kuru yüzey özgül ağırlığı, görünen özgül ağırlığı ve su emme oranı) deney sonuçları TS EN 12620 (2003) standardına uygun çıkmıştır. Agregaya su emme yüzdesi en fazla % 1.01 bulunmuştur. Agreganın kaliteli beton üretiminde kullanılmasını önerilir.

Gevşek/Sıkışık birim ağırlıkları TS standartları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar arasındaki fark her deneyde 5kg/m³ altında çıkmıştır. Beton dayanımı açısından bir sorun görünmemektedir.

Metilen mavisi deney sonuçları % 1'in üstünde çıkması durumunda çatlaklarda bulunan kil bantlarından uzaklaşılmalı ve balast bantı çalıştırılmalıdır.

Her iki taş ocağı örneklerinde yapılan Los Angeles Aşındırma deneyleri TS EN 1097-2 (2000) sınırları içinde kalmıştır. Deney sonuçları % 20 civarında çıkmıştır.

Dona karşı yapılan mukavemet deney sonuçları 0,6-7,5 arasında çıkması ve ince ve iri agregalarda su emme oranı % 1'in altında bulunması TS EN 12620 ((2003)'e göre don olayı gerçekleşmeyeceğini gösterir. Su emme deney sonuçlarına göre kireçtaşlarında mikro çatlakların az olduğu için agreganın yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılmasını önerilir.

Agrega üretiminde çeneli kırıcıların kullanılması durumunda agrega yassılık indeksi sorun görünmemektedir. BS 812 (1985) göre tanelerin kusurlu olması için deney sonuçlarının %40 üzerinde çıkması gereklidir. Keçikaya formasyonuna ait kireçtaşlarında üretilen agreganın yassılık indeksi Permiyen yaşlı kireçtaşı bloklarında üretilen agreganın yassılık indeksine göre daha yüksek bulunmuştur. Keçikaya formasyonu üzerinde yapılan Yassılık İndeksi tayini deney sonuçları % 30 civarında bulunmuştur (TS EN 933-3 1999).

Erdoğan (1993) Yassılık İndeksi yüksek çıkması durumunda çeneli kırıcı yerine konik kırıcı kullanılmasını önermiştir.

Keçikaya formasyonunda açılan ocaklarda üretilen agregalar üzerinde yapılan metilen mavisi deney sonuçları yer yer %1 altında bazı yerlerde % 1 üstünde çıkmıştır. Çatlaklardaki kil bantlarının temizlenmesi veya balast bantının çalıştırılması önerilir (TS EN 933-9 2010).

Bileşimsel homojenliği yüksek (saflığı > % 95) olan kireçtaşlarıdır. Saflığı yüksek olan agregalar kaliteli olup, kaliteli beton üretiminde kullanılmalıdır.

Deney sonuçları Çizelge 5' de özetle verilmiştir. İlgili standartlara göre Eski Kıbrıs ve Yeni Kıbrıs taşocaklarında çıkarılan kireçtaşları beton ve asfalt agregası olarak kullanılması için uygundur.

7 KAYNAKLAR

- Akyürek, B, Bilginer, E, Akbaş, B, Hepşen, N, Pehlivan, Ş, Şunu, O, Soysal, Y, Dağar, Z, Çatal, E, Sözeri, B, Yıldırım, H, Hakyemez, Y, 1984. Elmadağ-Kalecik Dolayının Temel Jeolojik Özellikleri. Jeoloji Mühendisliği, 20, (31-46).
- Akyürek, B, Duru, M, Sütçü, Y.F, Papak, İ, Şaroğlu, F, Pehlivan, N, Gönenç, O, Granit, S, Yaşar, T, 1996. Ankara ilinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynaklar Projesi (1994 Yılı Jeoloji Grubu Çalışmaları). Derleme Rapor No:9961, Ankara, s.140.
- Akyürek B, Bilginer E, Akbaş B, Hepşen N, Pehlivan Ş, Şunu O, Soysal Y, Dağar Z, Çatal E, Sözeri B, Yıldırım H, Hakyemez Y, (1982) Ankara-Elmadağ-Kalecik dolayının jeolojisi, MTA, Rapor No: 7298.
- BS 812: Part 105-1,1985. Testing Aggregates, Methods for Determination Of Particle Shape, Flakeiness Index, British Standards Institution.
- Carlos, A, Masumu, I, Hiroaki, M, Maki, M, Takahisa, O, 2010. The effects of limestone aggregate on concrete properties. Construction and Building Materials, 24, (pp.2363-2368).
- Demirel Z, Aray S, Alp A, Kadioğlu M, Orhan F, 2003 Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı El Kitabı. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Erdoğan, M, 1993. İstanbul ve Dolayının Yapay Agregaya Potansiyeli, Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, 14, (s.29-41).
- Elçi, H, Türk, N, İşintek, İ, 2014. İzmir Karaburun Yarımadası kireçtaşlarının mühendislik jeolojisi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 38 (2), (s. 103-134).
- Güler, B, Tuğrul, A, Şahin, S.Y, 2007. İstanbul Avrupa Yakasındaki Kumtaşı ve Kireçtaşlarının Yüksek Dayanımlı Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi, Erdoğan Yüzer Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, s.(459-468).
- Güler, B, Tuğrul, A, Hasdemir, S, Şahin, S.Y, 2010. İstanbul'da Üretilen Farklı Kökenli Agregaların

- Beton Özelliklerine Etkileri. Mühendislik Jeolojisi Bülteni, 30, (53-72).
- Hasdemir, S, 2004. Metilen Mavisi Deney Sonuçlarının Beton Basınç Dayanımlarına Etkisi, Beton 2004 Kongresi, İstanbul, (s. 615-622).
- Higgs, N.B, 1986. Preliminary Studeis Of Methylen Blue Adsorption As A Method Of Evaluating Degradable Smectic-Bearing Concrete Aggregate Sands. Cement and Concrete Research, Vol.16, (pp. 525-534).
- ISRM, (1978). Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness of Rocks. International Rock Mechanics and Mining Sciences, Geomech. Abstr, 15, pp. 89- 97
- Kazi, A, Al-Mansour, Z.R, 1980. Influence of geological factors on abrasion and soundness characteristics of aggregates, Engineering Geology, Vol. 15, (pp.195-203).
- McNally, G.H, 1998. Soil and Rock Construction Marerials. E and FN Spon, London.
- Proitevin, P, 1999. Limestone Aggregate Concrete, Usefulness And Durability, Cement And Concrete Composites, 21, (Pp.89-97).
- TS 706 EN 12620, 2003. Beton Agregaları, TSE Yayınları, 46s. Ankara.
- TS 3529, 1980. Beton Agregalarında Birim Ağırlıklarının Tayini, TSE Yayınları, sayfa 3s. Ankara.
- TS 707, 1980. Beton Agregalarında Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi. TSE Yayınları, 7s. Ankara.
- TS EN 1097 – 6, 2002. Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler–Bölüm 6: Agregalarında Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı Tayini, TSE Yayınları, 24s. Ankara
- TS EN 1097-3, 1999. Agregaların Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3: Agrega Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini, TSE Yayınları, 9s. Ankara.
- TS EN 1367-1, 2001. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 1: Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direncin Tayini Deneyi, TSE Yayınları, 9s. Ankara
- TS EN 933-3, 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 3: Tane Şekli Tayini-Yassılık Endeksi, TSE Yayınları, 6s. Ankara.
- TS EN 933-9, 2010. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 9 : İnce Malzeme Tayini Metilen Mavisi Deneyi, TSE Yayınları, 10s. Ankara.
- TS EN 1097-2, 2000. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm:2 Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar (Los Angeles Deneyi). TSE Yayınları, 10s. Ankara.
- West, G, 1996. Alkali–aggregate reaction in concrete roads and bridges, Thomas Telford, London, 163 pp.
- Zarif, I.H, Tuğrul, A, Dursun, G, 2003. İstanbul'daki Kireçtaşlarının Agrega Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi, İÜ. MF. Derg, 16 (2), (s.61-70).

Çizelge 5. Mamak (Ankara) yöresi taşocaklarına ait kireçtaşlarının agrega özelliklerinin standartlarla karşılaştırılması

Deneyleler	Eski Kıbrıs	Yeni Kıbrıs	TS EN 12620/	Karayolları	
	taşocağı kireçtaşı örnekleri	taşocağı kireçtaşı örnekleri	BS	Genel Müdürlüğü	
				Binder	Aşınma
Elek analizi	Alt-Üst sınır	Alt-Üst sınır	Alt- Üst sınır	Alt-Üst sınır	Alt-Üst sınır
Gevşek birim hacim ağırlığı (kg/m ³)	1406-1714	1411-1744	1200-1800 (kg/m ³)	—	—
Sıkışık birim hacim ağırlığı (kg/m ³)	1427-1733	1447-1760	1200-1800 (kg/m ³)	—	—
İnce agrega özgül ağırlık gr/cm ³				—	—
Kuru özgül ağırlığı gr/cm ³	2.59- 2.64	2.59-2.64	≥2.6gr/cm ³	—	—
Doymun kuru yüzey özgül ağırlığı gr/cm ³	2.62 - 2.70	2.62-2.66	≥2.6gr/cm ³	—	—
Görünen özgül ağırlığı gr/cm ³	2.66 - 2.75	2.66 - 2.69	≥2.6gr/cm ³	—	—
(İnce agrega Su) emme oranı %	0.75-0.78	0.84-1.01	≥2.6gr/cm ³	≤ 2.5	≤ 2
İri agrega özgül ağırlık TS EN 1097 - 6				—	—
Kuru özgül ağırlığı gr/cm ³	2.68- 2.70	2.68- 2.69	≥2.6gr/cm ³	—	—
Doymun kuru yüzey özgül ağırlığı gr/cm ³	2.69- 2.72	2.69- 2.70	≥2.6gr/cm ³	—	—
Görünen özgül ağırlığı gr/cm ³	2.71- 2.73	2.64- 2.71	≥2.6gr/cm ³	—	—
(İri agrega) Su emme oranı %	0.30-0.38	0.25-0.32	< 3	≤ 2.5	≤ 2
Metilen mavisi deneyi %	0,5-1.6	0,4- 1.1	< 1	≤1.5 (MB)	≤1.5 (MB)
Yassılık yüzdesi ve indeksi tayini %	28.1 - 33.22	18.3- 20.4	Genel kabul BS ≤ 40	BS ≤ 30	BS ≤25
Sodyum Sülfat çözeltisinde don kaybı %	7.3-7.5	% 0.6- 2.	≤ 18	≤18 (MS ₁₈)	≤16 (MS ₁₆)
Los Angeles aşınma deneyi %	17.1-24.5	23.1- 24.2	≤50	≤30 (LA ₃₀)	≤27 (LA ₂₇)

İzmir-Alaçatı Taşının Kuru Karışım Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği Üzerine Teknik Bir Analiz

A Technical Analysis on Usability of İzmir-Alaçatı Rock as Dry Mixture Lightweight Concrete Aggregate

L. Gündüz, Ş.O. Kalkan

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

N.K. Aydoğdu

Aydoğdu Ticaret A.Ş., İzmir

ÖZET İnşaat sektöründe doğal ve gözenekli malzeme kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Binalarda ölü yükü düşürmek ve enerji verimliliği yüksek duvar birimleri oluşturmak için, birim ağırlığı düşük hafif betondan mamul ürünler sıklıkla uygulamalarda görülmektedir. Kuru karışım hafif beton formunda hazırlanan harçlar ile çok farklı yapı malzemeleri elde edilebilmektedir. Doğal ve gözenekli malzemeler arasında tuf, kayaç yapısına sahip oluşumlarda son yıllarda sektörel kullanımlarda önem kazanmaktadır. Bu makalede, İzmir Alaçatı taşının kuru karışım hafif beton üretiminde kullanımı üzerine yapılmış bir deneysel analizin bulguları irdelenmiştir. Özellikle Alaçatı taşının ürün geliştirmede ihtiyaç duyulabilecek teknik özellikleri detaylı olarak sunulmuştur.

ABSTRACT The use of natural and porous materials is becoming increasingly common in civil engineering sector. To reduce the dead load and to produce the high energy efficiency wall sections, the products made from lightweight concrete are often observed in applications. Different construction materials can be obtained with mortars prepared by dry mixture lightweight concrete forms. Tuff rock types around the natural and porous materials are also nowadays gaining importance in engineering applications. In this paper, the results of a comprehensive research work carried out on İzmir-Alaçatı rock for using dry mix lightweight concrete were evaluated. Specially, the technical properties to be needed in developing a product with Alaçatı rock were presented in detail.

1 GİRİŞ

Farklı endüstri dallarında kullanıla gelmiş, değişik karakteristik özellikler sergileyen hafif agregalar, bugün özellikle inşaat sektöründe hafif yapı elemanı olarak, birçok alanda değerlendirilmektedir. Hafif yapı elemanı üretiminde kullanılan hafif agregaların dağılım aralığı oldukça geniş olup, orijinleri, görünümleri, yoğunlukları, sınıfları, yüzey koşulları, porozite, mekanik mukavemet, su emme ve maliyetleri bakımından birbirlerinden farklılık gösterirler. Bunların yaygın anlamda

kullanılan isimleri, orijinlerine ve üretimlerinin yapıldığı ülkeye göre değişiklik göstermektedir (Eriç 1994, Gündüz 1998). Agregalar, temelde 3 ana gruba ayrılmaktadırlar: Doğal agregalar, Endüstriyel olarak üretilen suni agregalar, Endüstriyel ürünlerin atıklarından elde edilen suni agregalar.

Doğal hafif agregalar, genelde bir volkanizma ürünü olarak oluşmuş gözenekli ve geniş kütleli dağılımlar gösteren endüstriyel hammaddelerdir. Bu kapsamda değerlendirilen ve güncel oluşumları bilinen agrega türleri olarak *Pomza, Diyatomit,*

Perlit, Vermikülit, Puzzolanlar, Tüf ve Volkanik Cürüflar sayılabilmektedir. Bunlardan perlit ve vermikülit, bir ısıtım işlemi sonrası geliştirilerek kullanılırken, diğerleri doğada oluşum şekliyle herhangi bir ısıtım işlemine gereksinim duyulmaksızın kullanılmaktadırlar.

Yapıda hafif malzeme kullanmak, gerek bina ölü ağırlığının düşürülmesinde gerekse binanın ısı yalıtım özelliğini iyileştirmede etkin faktör olarak bilinmektedir (Şener, 1999). Bu bakımdan, bina inşasında doğal ve hafif malzeme kullanımının önemi, giderek artmakta ve birçok araştırmacı hafif betondan mamul yapı elemanlarının geliştirilmesine yönelik bir dizi araştırma çalışmalarını sürdürmektedir. Bu araştırmalar arasında bir dizi inceleme, hafif betondan mamul hafif yapı elemanlarının üretilmesi ve dolayısıyla düşük birim ağırlık ve yüksek mukavemet sağlayan beton karışım kombinasyonları üzerine sürdürülmektedir (Gündüz, 1998). Günümüzde sektörel alanda kuru karışım hafif beton olarak elde edilen birim hacim ağırlık (BHA) değerleri 300 – 1300 kg/m³ arasında değişim göstermektedir (Neville, 1996). Bu birim ağırlıkları, karışım kombinasyonunda kullanılan gözenekli agreganın türü, en büyük tane boyutu ve betonun elde edilmiş şekillerine göre değişebilmektedir (Neville 1996, Kornev vd. 1980, TSE 2004). Ancak, genelde uygulanan karışım kombinasyonu ince, orta ve iri boyutlu gözenekli agregalar, Portland çimentosu ile karıştırılmakta ve düşük (2-3 cm) ve/veya sıfır çökme değerlerinde (kuru karışım kıvamında) hafif beton harcı elde edilmektedir. Bu harç, vibrasyon + presleme ünitelerinde özel olarak tasarlanmış duvar yapı elemanı kalıplarına dökülerek, nihai ürünler elde edilmektedir.

Bu bildiriye, Alaçatı Taşı olarak bilinen Alapietre Taşı'nın kesme taş artığı endüstriyel artık bir malzeme olarak nitelenebilecek tüfit agregası artıkları, inşaat endüstrisinde hafif beton harçların üretiminde değerlendirilebilirliğine ilişkin bir dizi teknik deneysel inceleme çalışmasının bulguları tartışılmaktadır.

2 İZMİR-ALAÇATI TAŞI

Dekoratif Taş (mermer) ocağında üretilen İzmir-Alaçatı Taşı, volkanik kökenli, beyaz renkte, içinde bazalt çakılları bulunan gözenekli bir yapıya sahiptir. Bölgeye özgü özelliklerinden dolayı “Alaçatı Taşı” veya “Alaepietra Taşı” olarak da bilinen malzeme, yörede çok uzun zamandır ve yaygın olarak, taş ev yapımında kullanılmaktadır (Şek. 1). Yumuşak karakterde olduğundan yontulması ve şekillendirilmesi kolaydır. İzmir-Alaçatı taşı ocaktan çıkarıldığında yumuşak bir yapıda olup; hava, rüzgar ve güneş ile temas etmesi sonucunda sertleşerek doğal bir yapı malzemesine dönüşmektedir (MGS, 2013). Bu doğal ve volkanik özelliklerden dolayı zamanla daha dayanıklı bir form kazanan kayaç malzeme yapısı sergilemektedir. Alaçatı taşı formasyonunun bulunduğu bölgede yer alan volkanik kayaçlar tüf, tüfit, aglomera, andezit ve çok az bir alanda gözlenen bazaltlardır. Alaçatı ve civarında geniş yayılımlar sunarlar. Beyaz, kirli beyaz, krem renklerde olan tüfler içerlerinde andezit ve bazalt çakıl ve blokları içerirler. Yer yer belirgin katmanlanma sunan tüfitler, volkano-sedimenter özelliktedirler. Bu katmanlanmalar volkanik kayaçların karasal tortul kayaçlar ile ardalanma sundukları geçişli dokanaklarda belirgindir (MGS, 2013). Bölgede bulunan Alaçatı Taşına ait genel özellikler Çizelge 1’de verilmiştir (MGS, 2013).

Kayaç örnekleri üzerine yapılan makroskopik ve mikroskopik inceleme bulgularına göre kayaç malzemenin, petrografik açıdan “Pomza bileşimli tüfit agregası” veya “Pomza bileşimli volkanik tüf agregası” olarak isimlendirilebileceği saptanmıştır.

Pomza bileşimli tüfit agregası örneklerinin kütesel formu primer bir kırıcıda kırıldıktan sonra elde edilen tane boyutunun ağırlıkça %99 ağırlıkla -32 mm'nin altında boyut aralığı sergilediği gözlenmekte olup, tanelerin kırılma yüzey şekillerinin de kısmen homojenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Agregası malzeme bünyesindeki pomza tanelerinin kısmen oransal dağılım değeri, ayrıştırma yöntemiyle tespit edilmeye çalışılmış olup, tane boyut aralığına bağımlı

olarak %58 - %74 oranında Pomza Agrega taneciklerinin yer aldığı görülmüştür.

Farklı boyut aralığındaki agrega malzemenin etüv kurusu yoğunluk değerleri şu şekilde elde edilmiştir:

0 - 1 mm boyut agrega malzeme (ince agrega) : ortalama **986 kg/m³**,

1 - 4 mm boyut agrega malzeme (orta agrega) : ortalama **833 kg/m³**,

4 - 12 mm boyut agrega malzeme (iri agrega) : ortalama **793 kg/m³**.



Şekil 1. İzmir-Alaçatı Taşı ocak üretiminden genel bir görünüm.

Çizelge 1. İzmir-Alaçatı Taşı genel özellikleri (MGS, 2013).

Birim Hacim Ağırlık	1370 kg/m ³
Özgül Ağırlık (DIN52102)	2.36 gr/cm ³
Toplam Gözeneklilik	%42.06
Basınç Dayanımı	16.29 N/mm ²
Matrix (İnce kül-cam)	%15-20
Riyolit lav – cam kırıntıları	%10
Bazalt lav	%5-10
Pomza Kırıntıları	%60-70
Feldspat - Kuvars	%3-5
Amfibol-Piroksen	%1.5

Bu birim hacim kütle değerleri irdelendiğinde, agrega malzemenin hafif agrega sınıfında yer aldığı açıkça görülebilmektedir. Farklı agrega boyutlarındaki İzmir-Alaçatı taşının bazı teknik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

İzmir-Alaçatı Taşı günümüzde yapılarda geniş bir kullanım alanına sahip olup, ana taşıyıcı yapı, mimari eleman ve süsleme elemanı olarak iç ve dış mekânlar da kullanılmaktadır. Dekoratif bir görünüm kazanabilen Alaçatı Taşı duvarlar, kemerler, sütunlar ve bahçelerde görsel bir zenginlik

olarak da kullanılmaktadır (Şek. 2). Bunun yanı sıra Alaçatı Taşı kullanılan yapılarda demir kullanılmaması, iç ve dış cephelerde sıva, badana ve benzeri uygulamalara gereksinim duyulmaması gibi avantajlarla beraber kullanılan mekânların kışın sıcak, yazın serin olmasına katkı sağlamaktadır. Uygulandıktan sonra gündün güne taşların birbirine kenetlenmesi ile yapıyı daha da sağlamlaştırma özelliğine sahiptir.

Çizelge 2. İzmir-Alaçatı Taşının bazı teknik özellikleri.

Özellikler	Agrega
Renk	Kirli Beyaz – Gri
MOHS Sertliği	6
pH	5.5 – 6
Özgül Kütle	2.31 gr/cm ³
Kuru Birim Hacim Kütle	İnce Boyutu için: 858 ±12% kg/m ³
	Orta Boyutu için: 798 ±11% kg/m ³
	İri Boyutu için: 829 ±12% kg/m ³
Su Emme (Ağırlıkça)	İnce Boyutu için: %20,16 ±4%
	Orta Boyutu için: %24,72 ±4%
	İri Boyutu için: %28,93 ±4%
Zararlı Maddeler Analizi	Yok
Sülfür Analizi	%0.33
Yapısal Bozunma Sıcaklığı	916 °C
Erime Noktası	1188 °C



Şekil 2. İzmir-Alaçatı Taşının kullanımı genel görünüm.

Mevsim şartlarına göre değişebilen renklere sahip Alaçatı Taşı yapılarına verdiği doğal canlılık sayesinde iç ve dış mekânlar da kullanımı giderek artmaktadır. Volkanik tüf taşı kullanım alanlarını etkileyen çok sayıda faydalı özelliğe sahiptir (MGS, 2013);

- Özgül ağırlığı düşüktür.
- Doğaya uyumlu zengin renk çeşitliliğine sahiptir.
- Renkleri solmaya karşı dayanıklıdır.
- Aşınmaz.
- Topraktaki nemi korumaya yardımcı olur.
- Sulama ihtiyacını azaltır.
- Su ile aşınmaz, rüzgar ve sert doğal reaktiflerden kolay etkilenmez.
- Ağaç ve çalılar çevrelemekte kullanılır.
- Yabani otların oluşmasını engeller.
- Yangına karşı dayanıklıdır.
- Yerleştirilmesi kolaydır.

3 ALAÇATI TAŞI AGREGALI BETON TASARIMI VE TEST ÖRNEKLERİNİN HAZIRLANMASI

Yöresel bağlamda Alaepietra taşı olarak da isimlendirilen İzmir-Alaçatı taşının taşıyıcı olmayan hafif blok harcı üretiminde

kullanılabilirliğini incelemek amacıyla, ocak kesim artığı malzemeler olarak ortalama 0-32 mm boyut aralığına sahip tüvenan agregalar temin edilmiştir. Bu hammadde laboratuvar ortamında öncelikle birincil bir çeneli kırıcıda kırılarak, daha sonra sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Harç örneklerinin hazırlanması amacıyla üç ayrı boyut fraksiyonu 0-1 mm, 1-4 mm ve 4-12 mm agregaya boyut aralıkları olarak tanzim edilmiştir. Bu çalışma kapsamında 0-1 mm boyutunda hazırlanan Alaçatı taşı “*ince agregaya*”, 1-4 mm boyutunda hazırlanan Alaçatı taşı “*orta agregaya*” olarak adlandırılmış olup, 4-12 mm boyutunda hazırlanan Alaçatı taşı ise “*iri agregaya*” olarak adlandırılmıştır. Tüm harç kombinasyonlarına ait örneklerin hazırlanmasında CEM I 42.5R Portland Çimento kullanılmış olup, su olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemeleri ArGe Laboratuvarında yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan hafif beton karışımları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Hafif beton karışım kombinasyonları.

Karışım	A/Ç	Çimento	0-1	1-4	4-12	Su	Taze Harç	Hava Kuruğu	
		Miktarı	mm	mm	mm				Miktarı
		(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	
M1	3:1	236	176	379	153	144	0,61	1229 ±12	1048 ±7
M2	4:1	184	184	396	160	154	0,84	1214 ±14	1026 ±8
M3	5:1	151	189	407	164	169	1,12	1203 ±17	1011 ±5
M4	6:1	128	193	415	167	171	1,33	1180 ±21	1002 ±11
M5	8:1	99	197	425	171	183	1,84	1171 ±27	990 ±14
M6	10:1	80	200	432	174	195	2,43	1144 ±30	984 ±13

Kuru karışım hafif beton harcı karışımlarında, farklı dozaj çimento kullanım oranlarında beton numunelerinin teknik özelliklerini analiz etmek amacıyla karışım kombinasyonları Agregaya/Çimento (A/Ç) oran değişimine bağlı olarak tasarlanmıştır.

Bu oran değişiminde agregaya değeri olarak karışımda kullanılan ince, orta ve iri boyut agregaya miktarlarının toplam değerinin kullanılan çimento miktarına oranı olarak ele alınmıştır. Buna göre deneysel çalışmada öngörülen A/Ç oran değişimi 3:1 – 10:1

aralığında 6 farklı karışım kombinasyonu olarak tasarlanmış olup, M1-M6 olarak kodlanmıştır. Çimento dozaj oranları A/Ç oranına bağlı olarak $80 \text{ kg/m}^3 - 236 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişim göstermektedir. Hazırlanan harçların kuru karışım veya sıfır slamp (çökme) özelliğini sağlayabilmesi bakımından Çizelge 3’de verilen Su/Çimento (S/Ç) oranları optimize edilerek kullanılmıştır. Karışımda kullanılan agrega miktarının artmasına bağlı olarak S/Ç oranı da artış göstermiş olup, 0,61 – 2,43 oran değişim aralığında uygulanmıştır. Üç ayrı boyut Alaçatı agrega ise, tüm karışım kombinasyonlarında toplam agrega yüzdelik dağılımında ince, orta ve iri agrega miktarları sırasıyla %21,6, %55,08 ve %23,32 olarak kullanılmıştır.

Hazırlanan her bir kuru karışım hafif beton harç örneklerinin karma işlemi sonrası, numune kalıplarına dökümü yapılmadan önce, taze beton harcı formunda yoğunluk değerleri ölçülmüş olup, ayrıca bu taze beton harcı vibrasyon+preslemeyle küp kalıba yerleştirildikten sonra elde edilen sıkışmış harcın da birim hacim ağırlığı belirlenmiştir. Bu iki taze harç birim ağırlığı arasındaki fark, her bir karışımın ne ölçülerde kalıba yerleşebildiği, diğer bir değişle ne kadar sıkışabildiği saptanmıştır. Genellikle, taze beton harcının vibrasyon ve preslemenin etkisiyle bir miktar sıkışacağı kaçınılmazdır, ancak bu sıkışma miktarının çok yüksek olması elde edilecek yerleşmiş betonun birim ağırlığını arttıracaktır. Bu nedenle, genelde bu tarz uygulama yardımıyla vibrasyon ve presleme basıncının büyüklüklerinin ayarlanması yapılabilmektedir. Hazırlanan karışımlardan vibrasyon + presleme ünitesinde kuru karışım kıvamında $10 \times 10 \times 10$ cm küp örneklerden her bir karışım için 12 adet numune dökülmüştür (Şek. 3). Ayrıca örneklerin rutubet hareketi tayini analizi için dikdörtgen geometrik şekilli çubuk örnekler hazırlanmış ve $20 \times 40 \times 3$ cm boyutlu ayrı bir seri plaka örnekler de test ve analizler için hazırlanmıştır.

Karışımındaki A/Ç oranına bağlı olarak vibrasyon + presleme ünitesinde hafif beton harcının sıkışma oranı %12–18 aralığında

değişim gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle, Alaçatı agrega oranı arttıkça, sıkışma oranının da arttığı görülmüş olup, agrega miktarının artmasına göre vibrasyon ve presleme basıncının ve sürelerinin düşürülmesinin gerekliliği tecrübe edilmiştir. Gerekli ayarlama yapılmadığı durumlarda, hedeflenen beton birim ağırlıklarının çok üzerinde ağırlık değerleri elde edilebilecektir. Diğer taraftan, bu harç karışımlarına ait ayrılan bir seri örneklerin hava kuru normal oda ortamı koşullarında kütleme işlemi sonrası kuru yoğunluk değerleri de ayrıca ölçülmüştür. Taze harç yoğunluk değerleri A/Ç oran değişimine bağlı olarak ortalama $1144-1229 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişim gösterirken normal ortam koşullarında kürlenmiş betonun yoğunluk değerleri ise ortalama $984-1048 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bu örnekler, daha sonra normal ortam şartlarında 28 gün boyunca kütleme işlemine bırakılmış olup, 28 gün kür sonrası sertleşmiş beton örnekleri bir etüv ortamında değişmez kütleye ulaşmaya kadar kurutulmuş ve sonrasında da teknik özellikleri analiz edilmiştir.



Şekil 3. Hazırlana kuru karışım hafif beton örnekleri genel görünümü.

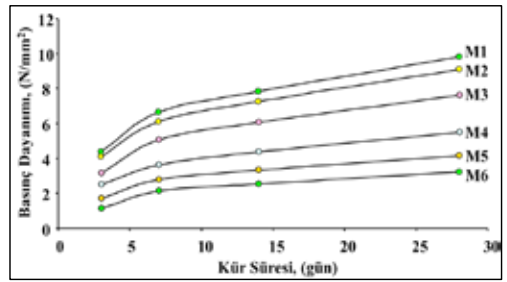
4 ARAŞTIRMA BULGULARI

İzmir-Alaçatı taşının kuru karışım hafif beton üretiminde kullanılabilirliğini irdelemek amacıyla hazırlanan beton örneklerinin deneysel analiz bulguları Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Hafif beton örneklerinin analiz bulguları.

Karışım	A/Ç	Etüv Kuruğu Birim Hacim Kütle (kg/m ³)	Basınç Dayanım Değeri (N/mm ²)	Kuruma Büzülmesi (%)	Rutubet Genleşmesi (%)	Isı İletkenlik Değeri (W/mK)
M1	3:1	1017	9,83	0,093	0,078	0,286
M2	4:1	987	9,09	0,082	0,069	0,271
M3	5:1	975	7,61	0,078	0,061	0,266
M4	6:1	944	5,51	0,067	0,055	0,259
M5	8:1	879	4,18	0,061	0,048	0,227
M6	10:1	813	3,24	0,054	0,039	0,206

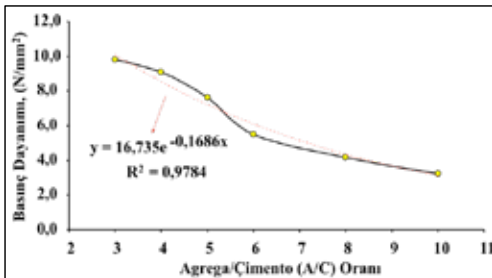
Kuru karışım beton örneklerinin birim ağırlık değerleri, kür süresine bağımlı olarak giderek azalma eğilimi sergilemektedir. Bu olgu genellikle nem atma olarak da nitelendirilebilmektedir. Hafif beton örneklerinde süreye bağlı bu nem atımı, karışımdaki agrega oranına doğrudan bağlı olduğu gibi, karışımın genel porozite yapısını da son derece etken bir rol oynamaktadır. Deneysel bulgulardan elde edilen tecrübe ile en düşük agrega oranı ve en yüksek çimento dozajının yer aldığı hafif beton örneklerinde nem atım oranları 7, 14 ve 28. günlerde sırasıyla %4.88, %7-8.19 ve %13.46 olarak gerçekleşmiştir. Ancak, en yüksek agrega oranı ve en düşük çimento dozajının yer aldığı hafif beton örneklerinde nem atım oranları ise daha yüksek olup 7, 14 ve 28. günlerde sırasıyla %6.13, %10.26 ve %15.62 olarak gerçekleşmiştir. Düşük oranda agrega kullanımının betonun nem atım seviyesini düşürdüğü ve beton harcının daha geç sürede kurduğu gözlenmiştir. Bu olgu, karışımda yer alan agrega malzemelerin gözeneklilik derecesi ve karışım suyunu bünyelerinde muhafaza etmelerinin bir fonksiyonu olarak gelişmektedir. Su atımının tersine bir değişim olarak, kür süresine bağımlı olarak hafif beton örneklerinin süreye bağlı basınç dayanım değerleri artış eğilimi göstermektedir. Bu olgu deneysel analizlerle 3, 7, 14 ve 28. günlerdeki kür süreleri için her bir örneğin dayanım değerleri ayrı ayrı analiz edilmiş olup, bulgular grafiksel olarak Şekil 4’de verilmiştir.



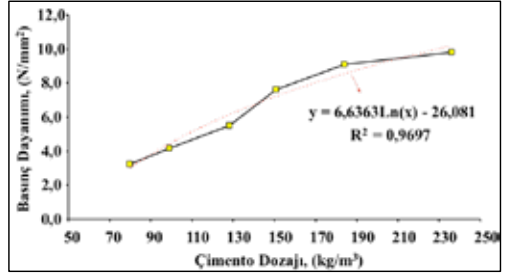
Şekil 4. Kür sürelerine bağlı hafif beton örneklerinin basınç dayanım değerleri.

Şekil 4’den de görüldüğü üzere, hafif beton örneklerinin 3. günden sonra hızla bir dayanım artışı kazandığı ve bu dayanım değişiminin de 14. günden sonra lineer bir etkiyle duraylı hale geldiği görülebilmektedir. Hafif beton örneklerindeki bu dayanım değişimi 3. günden 28. güne kadar olan sürede A/Ç oranına da bağlı olarak ortalama %124.32 - %184.36 aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Genel bir olgu olarak karışımdaki agrega kullanım oranı arttıkça, kür süresine bağlı bu dayanım değişiminin de artış gösterdiği tecrübe edinilmiştir. Bir diğer olgu ise, A/Ç oranı arttıkça hafif beton örneklerinin basınç dayanım değerlerindeki düşme eğilimidir. Bu durum özellikle 28 gün kür sonrası etüv kuruğu beton örnekleri için analiz edilmiş olup, A/Ç oran değişimi ve çimento dozajı değişimi bağlamında Şekil 5-6’da verilen istatistiksel yaklaşımlar elde edilmiştir.

Hafif beton karışımlarında priz almış örneklerin yoğunluk değeri, genellikle betonun birim ağırlık sınıfının tanımlanmasında önemli bir faktör olarak ele alınır. Genellikle yoğunluk değeri 1200 kg/m^3 ve altında olan beton türevleri günümüzde hafif beton olarak nitelendirilmektedir. Uygulama alanında özellikle binanın ısı yalıtım performansına katma değer sağlaması arzu edildiği ve bu durumun önemsendiği durumlarda, hafif beton birim ağırlığının önemi bir kat daha öne çıkmaktadır. Bu bağlamda uygulama yeri açısından öngörülen bir dayanım değerini sağlamak koşulu ile en düşük yoğunluk değerine sahip karışım kombinasyonu, en ideal bir hafif beton olarak da irdelenebilmektedir. Özellikle kuru karışım hafif beton kombinasyonları, çoğunlukla taşıyıcı olmayan hafif kâgir birimlerin üretiminde harç malzeme olarak kullanılması yoğun görülen bir uygulama şekli olup, minimum harç yoğunlukları son derece hafif kâgir blok elemanların elde edilmesinde önem kazanmaktadır. Bu blok elemanları genellikle hafif beton harç türevli olarak TS EN 771-3 standardının öngördüğü prensiplere göre üretilmekte ve teknik olarak irdelenmektedir. TS EN 771-3 standardında kâgir elemanın basınç dayanım değeri için sınır değer olarak kabul edilecek bir zorunluluk getirilmemekle birlikte, üretici beyanı esas tutulmuştur.

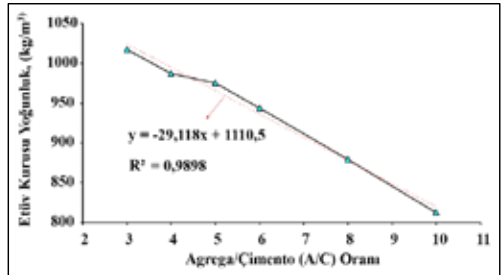


Şekil 5. Agregat/Çimento oranı - basınç dayanım değeri ilişkisi (28 gün kür sonrası).



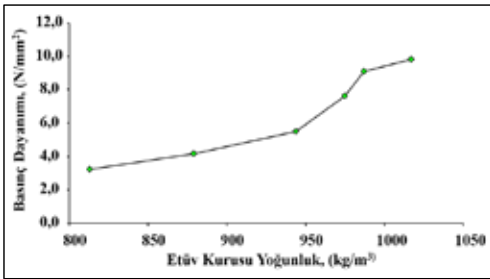
Şekil 6. Çimento dozajı - basınç dayanım değeri ilişkisi (28 gün kür sonrası).

Ancak, güncel uygulamalar ve saha koşulları da dikkate alındığında taşıyıcı olmayan kâgir blok elemanlarının minimum $1,5 \text{ N/mm}^2$ lik dayanım değerini sağlaması tecrübe edinilmiştir. Kâgir blok elemanda bu dayanım değerinin sağlanabilmesi için, blok tasarımı ve boyutlandırmasına da bağlı olmak koşuluyla blok üretiminde kullanılacak kuru karışım hafif beton harcının en düşük basınç dayanımı $2,75 \text{ N/mm}^2$ ve üzerinde olması arzu edilmektedir. Burada ele alınan parametrik değerlendirmeler ışığında, Alaçatı taşının hafif beton agregası olarak kullanımı için hazırlanan beton örneklerinin dayanım değeri, yukarıdaki grafiksel analizde de görüldüğü gibi yeterli dayanım değerini sağlayabildiği tespit edilmiştir. Yüksek agrega kullanım oranını da dahi mukavemet için yeter ölçüğün sağlayabileceği görülebilmektedir. Diğer taraftan sertleşmiş beton harcının (28 gün kür sonrası) yoğunluk değişimi irdelendiğinde ise Şekil 7'de verilen grafiksel ilişki elde edilmiştir.



Şekil 7. Agregat/Çimento oranı - etüv kuru yoğunluk değeri ilişkisi (28 gün kür sonrası).

Şekil 7 irdelendiğinde, karışım bileşenlerinde agrega kullanım oranı arttıkça etüv kuru su yoğunluğu hafif betonun yoğunluk değeri lineer bir yaklaşımla azaldığı görülmektedir. Tüm karışım oranlarında elde edilen yoğunluk değerinin 1200 kg/m^3 'ün altında olduğu ve bu bağlamda da beton örneklerinin hafif beton sınıfında irdelenebileceği görülebilmektedir. Ayrıca, ortama 7:1 A/Ç oranı ve üzerindeki karışım kombinasyonlarının düşük yoğunluk değerleri sebebiyle özellikle ısı yalıtımı açısından irdelenebilecek kagir blok elemanı üretimi için önem arz ettiği görülebilmektedir. Bununla birlikte 10:1 A/Ç oranı üzerindeki hafif beton örneklerinin ise ısı yalıtımı açısından duvarlarda dolgu betonu olarak da değerlendirilebileceği bir örnek olarak görülebilmektedir. Ancak bu bağlamda hafif betonun yoğunluk değeri değişimine karşın dayanım değerinin ne ölçüde değişim sergilediği de önemli bir faktördür. Elde edilen deneysel bulgulardan bu durum irdelendiğinde, Şekil 8'de verilen ilişki elde edilmiştir.

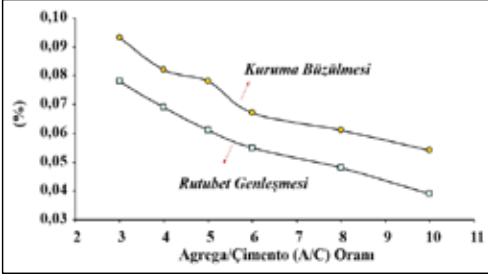


Şekil 8. Etüv kuru su yoğunluğu – basınç dayanım değeri ilişkisi (28 gün kür sonrası).

Hafif beton harcı uygulama ve kullanımlarında önemsenen bir diğer parametrik yaklaşım ise kuruma büzülmesi ve rutubet genleşmesi durumudur. Bu her iki olgunun toplam değeri toplam rutubet hareketi de denilmektedir. Hazırlanmış taze betonun içerisindeki suyun bir miktarı, betonun yerleştirilmiş olduğu kalıplar veya kalıba doldurulurken uygulanan basınç ve vibrasyon etkisiyle bünyeden kaybolabilmektedir. Ancak, önemli olan su

kayıbı ise betondaki suyun kür süresinde buharlaşmasıyla gerçekleşmektedir. Kalıptan çıkarılmış ve sıkıştırılmış taze betondaki terleme nedeniyle beton yüzeyinde veya yüzeye yakın kısımlara çıkan suyun hızla buharlaşması sonucunda, beton yüzeyi kuruyarak büzülme gösterebilmektedir. Bununla birlikte gözenekli agregalardan elde edilmiş hafif beton örneklerinde kür süresince agrega gözeneklerinde kısmen veya tamamen doymun olarak bulunan suyun bu şekilde kaybı nedeniyle plastik bir davranış modeliyle büzülme meydana gelebilmektedir. Bu duruma genellikle kuruma büzülmesi de denilmektedir. Kuru karışım formunda hazırlanan hafif betonlarda bu özelliğin sergilenmesi çok arzu edilmez. Çünkü bu olgunun olduğu ortamlarda betonda hızla kılcal çatlaklar oluşabilmekte ve beton yapısı deforme olmaktadır. Diğer taraftan, taze veya prizini almamış betonun ortam ile sıcaklık farklarından dolayı büzülerek çatlak meydana gelmesi ihtimali de söz konusudur. Rötreye çatlaklarını engellemek için beton tazeyken sulanarak rötreye çatlaklarının büyük çoğunluğu engellenebilmektedir. Bu bağlamda, kagir blok elemanı üretimlerinde kullanılacak kuru karışım hafif beton karışımlarının kuruma büzülmesi değerinin ihmal edilebilecek büyüklüklerde olması gerekir. Diğer taraftan, devamlı olarak su içerisinde bırakılan çimento hamurlarının ve betonların hacimlerinde ve ağırlıklarında küçük bir miktar artma meydana gelmektedir. Çimento hamurunun veya betonun gösterdiği hacim artışına “rutubet genleşmesi”, “şişme” veya “negatif büzülme” de denilmektedir. Kuru karışım hafif beton uygulamalarında bu olgu çok sık rastlanılmasa da gözenekliliği yoğun olan agrega türevlerinde gözeneklerde doymun olarak yer alan suyun uzun süre bünyeden atılamaması gibi durumlarda da kısmen bu olguya zemin hazırlamaktadır. Yukarıda da bahsedildiği üzere kuruma büzülmesi ve rutubet genleşmesi toplam değeri toplam rutubet hareketi olarak irdelenmekte ve bu değer %1'in altında olması gerektiği tecrübe edinilmiştir. Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında hazırlanan hafif beton

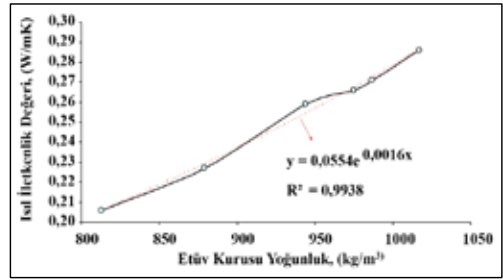
örneklerinin kuruma büzülmesi ve rutubet genişmesi değerleri ayrı ayrı analiz edilmiş olup, Şekil 9'da verilen grafiksel ilişki elde edilmiştir.



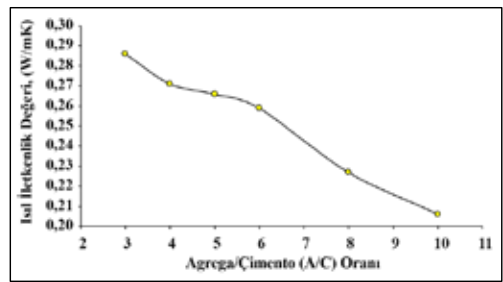
Şekil 9. Agregat/Çimento oranı - rutubet hareketi ilişkisi.

Hafif beton örneklerinin toplam rutubet hareketi irdelendiğinde, A/Ç oranı arttıkça her iki kuruma büzülmesi ve rutubet genişmesi hareketinin de azaldığı görülmektedir. Hafif beton örnekleri için eşdeğer A/Ç oranında kuruma büzülmesi değerinin rutubet genişmesi değerinden daha büyük olduğu tecrübe edilmiştir. Ancak, toplam rutubet hareketi miktarının tüm hafif beton örneklerinde %1'in altında olduğu ve dolayısıyla rötre olarak da tanımlanan büzülme olgusunun kabul edilebilen teknik değerler arasında kaldığı görülmüştür. Diğer bir yaklaşımla, kalıptan yerleştirilme sonrası çıkarılmış preslenmiş olan taze betonda, çimento ve su arasındaki reaksiyonların devam edebilmesi için, genellikle yeterli miktarda su bulunması gerekmektedir. Ancak betonun içerisindeki suyun önemli bir miktarının vibrasyon-basınç ve ortam sıcaklığı vb. gibi bir nedenle fazlaca kaybolması durumunda, kapiler boşluklardaki rölatif buhar basıncı azalmakta ve hidratasyon işlevi yavaşlamaktadır. Böylece kapiler boşluklardaki su azalarak bir süre sonra hidratasyonun devam edebilmesi için yeterli su bulunamamaktadır. Bu olgu da kısmen bir büzülme imkân sağlamakta ancak, hidratasyon büzülmesi olarak da irdelenen bu değerlerin miktarı ihmal edilebilecek kadar küçük değerlerde olmaktadır.

Kuru karışım hafif beton örneklerinin en önemli özelliklerinden birisi de gözenekliliğinde bir fonksiyonu olarak düşük yoğunluk değerlerinde sağladıkları ısı yalıtım performans özelliğidir. Bu özelliğin analiz edilmesi amacıyla, plaka geometrik boyutlarda hazırlanmış olan hafif beton örneklerinin ısı iletkenlik değerleri ASTM-C 237 ve TS EN ISO 8990 standardında öngörülen Mahfazalı Sıcak Kutu yöntemine göre ölçülmüştür. Elde edilen tüm karışım kombinasyonlarına ait beton yoğunluk değişimi ve A/Ç oran değişimi bağlamında ısı iletkenlik değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. Bu irdemelerden elde edilen teknik bulgular Şekil 10 ve Şekil 11'de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 10. Hafif beton yoğunluk - Isıl iletkenlik değeri ilişkisi.



Şekil 11. Agregat/Çimento oranı - Isıl iletkenlik değeri ilişkisi.

Isı iletkenlik analiz bulguları incelendiğinde görüldüğü gibi, en düşük ısı iletkenlik değeri Alaçatı agregat kullanım oranı en yüksek olan malzeme örneklerinde tespit edilmiştir. Hafif beton örnekleri için elde edilen ısı iletkenlik değeri aralığı 0,206 – 0,286 W/mK arasında

değişim göstermektedir. Karışım kombinasyonunda A/Ç oranı arttıkça, betonun ısıl iletkenlik değeri üstel bir fonksiyonel yaklaşımla azalmakta olup, beton yapısı daha yalıtkan bir duruma gelmektedir. Bununla birlikte A/Ç oranındaki 3:1'den 10:1'e değişen agrega kullanım oranıyla hafif beton ortalama %27 daha fazla enerji verimliliği sağlayan bir yapısal özelliğe dönüşmektedir. Bu da özellikle ısı yalıtım özelliği üst performanslarda üretilecek veya geliştirilecek kâgir blok elemanları ve/veya duvar dolgu betonlarında çok önemli bir konuma gelmektedir. Bu bağlamda enerji verimliliği yüksek kâgir yapı elemanlarının geliştirilmesine imkan sağlayacağı görülebilmektedir.

5 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında İzmir İli Çeşme İlçesi Alaçatı Yöresi çevresinde bulunan, beyaz renkte görülen ve Alaçatı Taşı olarak adlandırılan volkanik kökenli kayalık oluşumlarının inşaat sektöründe hafif yapı malzemesi kâgir blok elemanları ve/veya duvar dolgu betonların üretimi için kuru karışım hafif betonların elde edilmesinde değerlendirilebilirliği deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Yapılan analizlerden elde edilen bulgulara göre, Alaçatı Taşı'nın hafif yapı malzemesi olarak kuru karışım hafif beton kombinasyonlarında kullanılabilirliğinin uygun olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Eriç, M., 1994. *Yapı Fiziği ve Malzemesi*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, Antalya, s257.
- Gündüz, L., 1998. *Pomza Teknolojisi Cilt-1*, Isparta.
- Kornev N.A., Kramar V.G. and Kudryavtsev A.A., 1980. *Design peculiarities of prestressed supporting constructions from concretes on porous aggregates*, The Concrete Society, The Construction Press, Lancaster, London, New York, UK.
- MGS, 2013. Çed Raporu: Namık Kemal AYDOĞDU, İR: 51232 Ruhsat Numaralı II. Grup Kalker Ocağı Rehabilitasyonu, Kırmaleme Tesisi Ve Dekoratif Taş Ocağı Kapasite

- Artışı Projesi, MGS Proje Müşavirlik Mühendislik Tic. Td. Şti. Ankara, 2013.
- Neville, A., M., 1996. *Properties of Concrete Fourth and Final Edition*, Addison Wesley Longman Limited, Harlow, UK.
- Şener, F., 1999. Yalıtımlı Hafif Yapı Hammaddeleri, *Enerji Tasarrufunda Jeotermal Enerjinin Ve Yalıtımlı Hafif Yapı Malzemelerinin Önemi Sempozyumu*, s31-47, Ankara.
- TSE, 2004. TS 1114 EN 13055-1:2004, Hafif Agregalar-Bölüm 1: Beton, Harç ve Şerbet Kullanım için, s39, TSE, Ankara.

Trabzon (Düzköy) Bölgesindeki Volkanitlerin Yol Dolgusu Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

The Investigation of Usage of Trabzon (Düzköy) Region Volcanites as Filling Material for Roads

G. Külekçi, A. O. Yılmaz

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon

ÖZET Karayollarının yol sağlamlığının ve kalıcılığının en önemli etmenlerinden biri kaplama yapılmadan önceki dolgu kısmıdır. Bu dolgu kısmında kullanılacak agreganın standartlara uygun olması, kullanılacak olan yolun niteliğini, sağlamlığını ve kullanım ömrünü artıracaktır.

Bu çalışmada Karadeniz sahil yolu ve birçok kara yolunun alt dolgusu olarak kullanılabilen bazalt türü kayaların bazı mekanik deneyleri yapılmış ve bunlar yorumlanmıştır. Taş ocağından alınan doğal agregaların elek analizi yapılarak boyutu belirlenmiştir. Daha sonrasında TSE ve ASTM standartlarına göre tane yoğunluğu, donma çözünme deneyleri, Micro-Deval, Parçalanma Direncinin Tayini, deneyleri yapılmıştır.

Yapılan deneylerden alınan sonuçlar Karayolları Genel Müdürlüğü'nün teknik şartnamesi ile karşılaştırılmıştır. İncelenilen agreganın karayollarında yol dolgusu olarak kullanılamayacağı ortaya konulmuştur.

ABSTRACT One of the most important factors for strength and permanence of roads is filling part of roads before coating application. As a filling material, aggregates that conforming to standards will increase quality, durability and lifetime of the roads.

This study is conducted some mechanical tests of basalt type aggregates used as filling in Black Sea coastal and other roads. The aggregates are taken from the quarry that supply filling materials to roads. Firstly, particle size distribution of aggregates is determined by sieving analysis. Then, particle density, freezing-thawing resistance, micro-deval and Los-Angeles tests is performed according to TSE and ASTM standards.

The experiment results are compared with results obtained from the technical specifications of Highways General Directorate. This study is resultantly indicated that the aggregates cannot be applicable for filling material in roads or highways.

1 GİRİŞ

Ülkelerin gelişmişliği kara yollarının kalitesi ile paralel bir şekilde artmaktadır. Kara yollarının sağlamlığı ve dayanıklılığı hem ekonomik olarak hem de güvenlik olarak oldukça önemlidir. Kara yollarında yapılan yol yapım çalışmaları temel olarak şu aşamalardan oluşmaktadır;

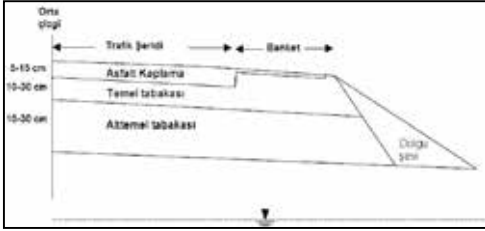
- Şev kazıklarının çakılması

- Alt yapı (toprak işleri) ve sanat yapılarının yapılması (menfez, köprü, viyadük, akadük gibi yapılar).

- Üst yapının yapılması (Alt temel, Bitümlü temel, Aşınma)

- Yol aksesuarların yapılması (şerit çizgileri, Oto korkuluk vb.).

Bu aşamalardan kalıcılığı ve sağlamlığı etkileyen en önemli parametre üst yapım aşamalarıdır (Şek. 1).



Şekil 1. Tipik bir esnek üstyapı kesiti ve bünyesindeki tabakalar (Yılmaz vd. 2012)

Üst yapım aşamalarından alt temel; tesviye yüzeyi üzerine serilen, genellikle belli bir granülometrisi (kum, çakıl, taş kırığı) olan malzemeden inşa edilen tabakadır. Bu tabakanın görevi bazı durumlarda, üzerinde bulunan temel tabakasına yardımcı yanında su ve don tesiri karşısında tampon bölge vazifesi görür.

Bitümlü temel tabakası ise Alt temel tabakası ile Aşınma tabakası arasındaki daha ince malzemeden (doğal kum, doğal çakıl) oluşan kısımdır. Temel tabakası sıkıştırılmış stabilize edilmiştir. Su ile belirli oranda karıştırılarak kamyonlarla getirilen malzeme asfalt ve beton serme makinesi ile serilip silindir ile ezilerek sıkıştırılır ve sıkı bir tabaka elde edilmiş olur.

Son tabaka olan Aşınma tabakası ise; temel tabakası üzerine inşa edilen ve trafiğin doğrudan temas ettiği kısımdır. Türkiye de genellikle döşeme asfalt olarak yapılır. Esas görevi düzgün bir yuvarlanma yüzeyi oluşturmaktır. Bu tabaka birkaç tabaka şeklinde inşa edilir. Son kaplama yapılmadan altına Binder Tabakası denilen daha iri malzeme ve az asfaltla oluşturulan bir tabaka yapılır. Bu tabaka üstüne aşınma tabakası da denilen daha ince agrega ve daha fazla asfalt karışımı malzeme serilir. Üst yapıp aşamalarının hepsinde kullanılan agreganın mekanik özellikleri karayolunun sağlamlığını ve kalitesi belirleyecek en önemli etmendir.

Üstyapının her tabakasında kullanılan malzemeler, standartlarda belirtilmiş olan, bazı özelliklere sahiptir. Çoğunlukla bu standart özellikler malzemenin (gradasyonu, tane yapısı, dayanımı, donma direnci v.b) birçok karakteristik özelliğini kapsar.

Malzemeler için aranan bu standartlar üstyapı tabakalarında yukarıya doğru çıkıldıkça daha sıkılaşır ve daha yüksek kalite arzu edilir. Çünkü üst tabakalar trafikten gelen yükleri doğrudan maruz kaldığı için bu yükleri karşılayabilecek kalitede ve dayanımda olmalıdır (Yılmaz vd. 2012).

Doğal agregaları meydana getiren kayalar, kökenlerine göre; Mağmatik, Metamorfik ve Sedimanter olmak üzere üç temel grupta yer alırlar. Kırmataş olarak kullanılan bu kayaç parçaları, bağlayıcı yardımı ile bağlandıklarında asfalt betonu veya benzeri sağlam kütleler meydana getirirler. Kırmataş olarak kullanılan bu kayaların sınıflaması Çizelge 1'de verilmiştir (Esenli, 1996).

Çizelge 1 Doğal kırmataş hammaddelerinin sınıflandırması (Esenli, 1996).

Grup	Genel Sınıflama	Kayaç	Yoğunluk
MAGMATİK	PLÜTONİK	Granit	2,60
		Siyenit	2,70
		Diyorit	2,80
		Gabro	2,90
		Peridotit	2,90
	VOLKANİK	Diyorit	2,60
Trahit		2,60	
Andezit		2,60	
Bazalt		2,80	
Diyabaz	2,90		
SEDİMANTER	KİMYASAL (Karbonatlı)	Dolomit	2,70
		Kireçtaşı	2,60
	KIRINTILI (Silisli)	Konglomera kumtaşı, kuvarsit, arkoz, kiltaş, şeyl, arjilit, çört, grovak	2,60
METAMORFİK	FOLİASYONLU	Amfibolit	3,00
		Şist	2,80
		Onays Sleyt	2,70
	FOLİASYONSUZ	Mermer	2,70
Kuvarsit	2,80		

Trabzon yöresinde ki volkanik kayalar genel olarak denize paralel bir şekilde istiflenmiştir. Çalışmanın yapıldığı alan Trabzon ilinin güneybatısında yer alan Düzköy ve Akçaabat ilçeleri arasında ki bölgede yer almaktadır (Şek. 2).



Şekil 2. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Doğu Karadeniz bölgesi Kretase ve Tersiyer mağmatizmasının en yaygın olduğu bir bölgedir. Ancak bu yoğun mağmatizmaya rağmen bölgede yer yer çok iyi korunmuş Jura-Tersiyer yaşlı tortul istifler yüzeyler. Akçaabat-Düzköy (GB Trabzon) bölgesi Jura'dan Tersiyer sonuna kadar tüm Pontidleri karakterize eden istiflerin varlığı ile dikkati çeker. Ayrıca bu yöre, Doğu Pontidler'de Jura-Alt Kretase yaşlı istiflerin coğrafik olarak en kuzeyde gözlenebildiği yerler arasındadır (Şek. 3) (Korkmaz 1993).



Şekil 3. Çalışma alanının Jeolojik haritası

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan agregalar Trabzon Akçaabat - Düzköy bölgesinde işletilen agrega ocağından elde edilmiştir (Şek. 4). Yol temel ve alt temel malzemesi olarak kullanılabilirliğinin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yoğunluk deneyleri, su emme ve nem içeriği, donma çözünme, mikro deval, Los Angeles deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler TSE ve ASTM standartlarına göre yapılmış ve alınan sonuçlar Türkiye karayolları teknik şartnamesine göre yorumlanmıştır.



Şekil 4. Agrega temini

2.1. Agregaların Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı

Yol inşaatlarında özgül ağırlık değeri sıklıkla kullanılmaktadır. Ocaktan temin edilen iri agregalar için tel sepet metodu ile ince agregalar için ise piknometre metodu ile malzemelerin özgül ağırlıkları ve su emme oranı tespit edilmiştir (Şek. 5). TS EN 1097-6 (2002)'ye göre prosedür uygulanmıştır.



Şekil 5. Yoğunluk deneyleri

4 mm ile 31,5 mm arasında ki agregalar için Piknometre metodu uygulanmıştır. Bu metotta; hazırlanan deney numunesi piknometrede bulunan, $(22 \pm 3)^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki suya daldırılır ve hapsolmü

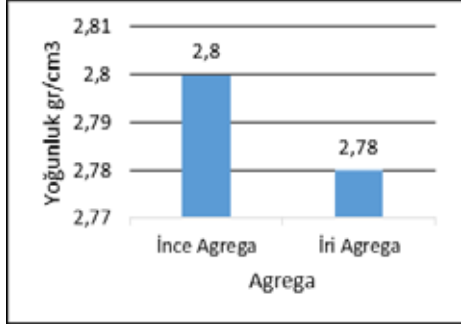
hava, vakum uygulanarak uzaklaştırılır. Hava tamamen uzaklaştırıldıktan sonra Piknometre, su ilâve edilerek taşacak şekilde doldurulur ve kap içerisinde hiç bir hava hapsedilmeden tepe kısmına bir kapak yerleştirilir. Daha sonra, piknometrenin dış kısmı kurutulur ve tartılır tartım sonucu not alınır. Agregata taneleri, sudan çıkarılır ve birkaç dakika süreyle kurumaya bırakılır. Piknometre tekrar su ile doldurulur ve kapak daha önce belirtildiği şekilde yerleştirilir. Daha sonra, piknometrenin dış kısmı kurutulur ve tartılır. Tartım işlemi bittikten sonra belirtilen formülle yoğunlukları hesaplanır.

- 31,5 mm ile 63 mm arasında ki agregalar için tel sepet metodu kullanılır tel sepet metodu; agregata numunesi tel sepete yerleştirilir ve tel sepet, suyun seviyesi, sepetin üst kısmından en az 50 mm yukarıda olacak şekilde (22 ± 3)°C sıcaklıkta su ihtiva eden tanka daldırılır.

Daldırmadan hemen sonra sepet, tankın tabanından yaklaşık 25 mm yukarıya kaldırılarak ve saniyede bir kez olmak üzere 25 defa bu yükseklikten düşürülerek, hapsedilmiş hava deney numunesi kısmından uzaklaştırılır. Sepet ve agregata, ($24 \pm 0,5$) saat süreyle (22 ± 3)°C sıcaklıktaki suya tamamen daldırılmış halde bekletilir. Sepet ve deney numunesi kısmı sallanır ve (22 ± 3)°C sıcaklıktaki suda tartılır. Sepet ve agregata, sudan çıkarılır ve suyun uzaklaşması için birkaç dakika beklenir. Agregata, sepetten, kuru bezlerden birinin üzerine dikkatlice boşaltılır. Boş sepet, tekrar suya daldırılır, 25 defa sallanır ve suda tartılır. Agregata tanelerinin yüzeyi dikkatlice kurutulur ve bez rutubet ememeyecek hâle geldiğinde, taneler, ikinci bir kuru, yumuşak emici bez üzerine aktarılır. Agregata taneleri, kalınlık bir agregata tanesinden daha fazla olmayacak şekilde bu ikinci bez üzerine yayılır ve görülebilir bütün su filmleri uzaklaştırılana kadar direk güneş ışığından veya herhangi bir ısı kaynağından korunarak atmosfere maruz bırakılır. Ancak bu durumda agregata taneleri, hâlâ rutubetli bir görünüm arz eder. Agregata taneleri tartılır. Agregata taneleri, bir tepsiyeye aktarılır ve etüvde, (110 ± 5)°C sıcaklıkta, sabit kütleyle

kadar kurutulur ve tartılır. Tartım işlemi bittikten sonra standartlarda belirtilen bağıntı ile hesaplanır.

Yapılan hesaplamalardan sonra iri agregaların yoğunluğu $2,78 \text{ gr/cm}^3$ nem oranı ise %0,22 ince agreganın yoğunluğu ise $2,80 \text{ gr/cm}^3$ nem oranı ise %0,76 olarak bulunmuştur (şekil 6).



Şekil 6. Agregata yoğunlukları

2.2 Donma Çözünme Deneyi

Yol dolgusunun iklim değişimlerinden nasıl etkilendiğini görmek için donma-çözünme deneyi yapılmıştır. Bu deney, agreganın arka arkaya donma ve çözünme etkisine maruz bırakılması halinde gösterdiği davranış biçimi hususunda bilgi sağlar. Donma – çözünme deneyi 4 mm ile 63 mm arasında tane büyüklüğüne sahip agregalara uygulanır. Bu deneyde TS EN 1367-2 deney standardına göre Çizelge 2’de de belirtilmiş agregata miktarları kullanılmıştır.

Çizelge 2: Donma-Çözünme döngü deneyi için gereken deney numunesi kısımlarının miktarları.

En Büyük Agregata Tane Büyüklüğü (mm)	Agregata Kütleli veya Hacmi	
	Normal Agregata (gr)	Hafif Agregata (Yığın Hacmi) (mL)
4-8	1000	500
8-16	2000	1000
16-32	4000	1500
32-63	6000	-

Çalışma alanından alınan +8,-16 mm boyutundaki numuneler 10 defa donma-çözülme döngüsüne tâbi tutulmuştur. Burada, su altında -17,5 °C'ye soğutma ve daha sonra da yaklaşık 20 °C'deki su banyosunda çözme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şek. 7).



Şekil 7. Donma- çözülme deneyi

Donma-çözülme döngülerinin tamamlanmasından sonra agregalar, agregalar, 8 mm lik elekten geçirilerek % kütle kaybı hesaplanmıştır. Bu hesaplama şu eşitlikle yapılmıştır;

$$F = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

Burada;

M1 : Deney numunesinin ilk kuru kütlesi, g,
M2: Elekte tutulan deney numunesinin toplam nihai kuru kütlesi, g,

F: Donma-çözülme döngüsünden sonra deney numunesinin kütlece yüzde kaybı

Hesaplamalar sonucunda incelenen agreganın donma - çözülme deney sonucunda kütle kaybının % 46 olduğu görülmüştür.

2.3 Aşınmaya Karşı Direncin Tayini (Mikro-Deval) Deneyi

Agregaların aşınmaya karşı direncinin ölçülmek için çalışma alanından alınan numunelere mikro-deval deneyi yapılmıştır. Deney laboratuvarında ASTM (2010) standardına göre yapılmıştır, +4,75 mm, - 6,3 mm arası 750 gr ve 6,3 mm, - 9,5 mm arası 750 gr olmak üzere toplam 1500 g örnek hazırlanmıştır. Bu örnekler deneyden önce etüvde kurutulularak nemi alınarak tamburun içine 1500 g örnek, 5000 g 1 cm

çapında çelik bilye ve 2 litre su konularak deney yapılmıştır (Şek. 8).



Şekil 8. Mikro- Deval aşınma deneyi

Tamburdan çıkarılan örnekler 1,18 mm'lik elekten elenmiş ve elek üstü malzeme etüvde kurutulduktan sonra tartılarak ağırlık kaybı ilk ağırlığa bölünerek Mikro-Deval aşınma değeri hesaplanmıştır. 4 tamburdaki mikro-deval aşınma kaybının ortalaması alınarak agreganın mikro-deval aşınma kaybı yüzde %46,25 olarak hesaplanmıştır.

2.4. Parçalanma Direncinin Tayini: Los Angeles Deneyi

Çalışılan agregaların aşınma direncinin tespiti için Los Angeles parçalanma direnci deneyi TS 3694 standartlarına göre yapılmıştır (Şek. 9).



Şekil 9. Los Angeles deney düzeneği

TS 3694 standartlarına göre Deneyde Los Angeles deney aleti kullanılmıştır. Aşınma deneyi için 5000'er gr numune hazırlanmıştır. Deney numunesi yıkanmış, 110°C'de etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Numune ve aşındırma sınıfına göre gerekli olan 11 adet çelik küre, deney aletine konularak 30-33 devir/dakika olacak şekilde, alete 500 devir yaptırılmıştır. Gerekli devir sayısı tamamlandıktan sonra numune 1,70 mm'lik elekten elenmiş, elek üstünde kalan malzeme yıkanmış ve

110°C'lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutularak tartılmıştır. Deney sonuçları

➤ % aşınma kaybı = (ilk ağırlık- son ağırlık) / (ilk ağırlık)

Bağıntısı ile hesaplanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşınma kaybının % 43 olduğu görülmüştür.

3. SONUÇLAR

Yapılan çalışmalar sonucunda çalışılan bölgedeki iri (+31,5,- 63 mm) volkanitlerin yoğunlukları 2,80 gr/m³ olarak bulunmuştur. 2.80 gr/m³ yoğunluğundaki malzeme Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) teknik şartnamesine (2013) uygun olarak Donma-çözünme, Mikro- Deval ve Los Angeles deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuçlar KGM teknik şartnamesine göre yorumlanmıştır.

KGM teknik şartnamesine göre Na₂SO₄ çözeltisindeki malzeme kaybı; alt temel tabakasında kullanılacak olan agregalar için maksimum % 20, temel tabakasında kullanılacak agregalar için maksimum % 15 olarak sınırlanmıştır (KGM, 2013). Yapılan çalışmalarda Na₂SO₄ çözeltisi kullanılmamıştır. Su ile yapılan deney sonucunda donma çözünme değeri %46 olarak bulunmuştur. Donma çözünme deneyi TS EN 1367-2'e göre uygulanmıştır ancak deney bulgularının sınır değerleri için henüz ülkemizde bir şartname mevcut değildir.

Mikro-Deval deneyi agregaların aşınma direncini göstermektedir. Mikro- Deval katsayısının yüksek olması agregaların aşınma direncinin düşük olduğunu gösterir. Mikro-Deval deneyi ASTM (2010)'ye göre uygulanmıştır. Dört tamburdan alınan sonuçların ortalaması % 46,25 olarak bulunmuştur. KGM teknik şartnamesinde yol üst temel malzemesi olarak kullanılacak agregada Mikro- Deval değerinin <25 olması istenmektedir. Bu bölgede çalışılan volkanitlerin Mikro- Deval aşınma değerinin şartname sınır değerinin üzerinde olduğu görülmüştür.

KGM şartnamelerine göre temel tabakasında kullanılacak olan malzemenin Los Angeles aşınma kaybı maksimum % 40 olmalıdır. Aşınma tabakası için ise

maksimum kayıp %30 olmalıdır (KGM, 2013). Yapılan çalışmada Los Angeles deneyleri incelendiğinde aşınma kaybının %37 olduğu ve bu değer temel tabakası için uygun olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, çalışılan bazalt türü volkanitlerin, yol üst yapı malzemesi olarak standartların belirttiği özelliklere sahip olmadığı, incelenen malzemenin donma deneyine verdiği sonuçlardan; karasal iklimler yerine donma olayının sık görülmediği ılıman iklim bölgelerinde kullanılmasının daha uygun olabileceği, Los Angeles deney sonuçlarına göre bu agregaların yol temel tabakalarında kullanımının daha doğru olacağı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- ASTM, 2010. Standart test method for resistance of coarse aggregate to degradation by abrasion in the Micro-Deval Apparatus. D6928-10, 6 s.
- Esenli V., 1996. Kırmataş Hammaddeleri ve Standartları, *1. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96*, İstanbul.
- KGM, 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü Yol Yapım Teknik Şartnamesi
- Korkmaz S., 1993. Tonya-Düzköy (Gb Trabzon) Yöresinin Stratigrafisi Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Trabzon
- TS 3694, 1981. Beton Agregalarında Dayanıklılık (Aşınma Oranı) Tayini Metodu.
- TS EN 1097-6, 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini.
- TS EN 1367-2, 1999. Gregaların Termal ve Bozunma Özellikleri için Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi.
- Yılmaz A., Saltan M., Akıllı A., 2012. Göller Yöresinde İşletilen Kireçtaşı Agregalarının Yol İnşaatı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 18, Sayı 3, , Sayfa 199-207
- Yollar Fenni Şartnamesi (Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü Tünel ve Üst Yapı işleri), 2000 . Karayolları Genel Müdürlüğü, Yayın No:170/2.

Van İli Tuşba İlçesi Beyüzümü Mevkiinden Alınan Kireçtaşlarının Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması *Investigation of the Usability of Limestones as Aggregates in Beyüzümü Location of Tuşba District of Van*

O.O.Varol, M.Türkmenoğlu, Z.F.Türkmenoğlu
Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Van

ÖZET Bu çalışmada, Van İli, Tuşba İlçesi Beyüzümü mevkiinden alınan kireç taşlarının kırmataş (agrega) olarak kullanılabilme olanakları araştırılmıştır. Araziden alınan numuneler Yüzüncü Yıl Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm laboratuvarına getirilerek kayacın fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda belirlenmiştir. Laboratuvar deneyleri sonucunda kayacın; çok ince malzeme miktarı %1.05, Los Angeles metodu ile parçalanma direnci miktarı %21.32, Tane yoğunluğu 2.67 g/cm^3 (Mg/m^3), Su emme oranı %0.27, Yığın yoğunluğu (-25+15 mm,-15+5 mm ve -5+0 mm) 1.23, 1.29 ve 1.35 g/cm^3 (Mg/m^3), Tek Eksenli Basınç Dayanımı 37.31 MPa, Donmaya ve çözülmeye karşı direnç tayini sonucu kütle kaybı %0.19, asitte çözülebilen sülfat %0,12 olarak belirlenmiştir. Ayrıca örneklerde klor ve organik madde bulunmamaktadır. Bu analiz sonuçlarının Türk standartları ile karşılaştırılması ve yorumlanması sonucunda, bu kireçtaşlarının agrega olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT In this study, limestone samples taken from Beyüzümü location of Tuşba County in Van were investigated in terms of their usability as aggregates. Samples recruited from the field were brought to the laboratory of the Department of Mining Engineering in Yüzüncü Yıl University; the rocks brought to the laboratory were investigated in order to determine their physical, mechanical and chemical properties in a number of tests and experiments conducted in the laboratory. The amount of very fine materials was found to be 1.9%, the amount of the resistance to fragmentation based on Los Angelos method was 21.32%, the particle density was 2.67 g / cm^3 (Mg/m^3), the water absorption rate was 0.27%, the bulk density (-25 +15mm, -15 + 5 mm and -5 +0 mm) 1.23, 1.29 and 1.35 g / cm^3 (Mg/m^3), the uniaxial compressive strength was 37.31 MPa, mass loss was determined to be 0.19% after determination of resistance to freezing and thawing, soluble sulfate in acid 0,12%. Also in the samples, chloride and organic substances were not determined. As a result of the interpretation of this analysis and comparative investigation of Turkish standards, it was concluded that these lime stones can be used as aggregates.

1 GİRİŞ

Van bölgesinde birçok taş ocağı bulunmaktadır. Bunlar genel olarak merkez ve ilçelerde yoğunlaşmakta ve ürettikleri ham malzemeyi satışa sunmaktadırlar. Ocaklardan üretilen malzeme genellikle hazır beton santrallerinde beton agregası, karayollarında stabilize malzeme ve mıcır olarak kullanılmaktadır.

Beton üretiminde kullanılan mineral kökenli, kum, çakıl ve kırmataş gibi taneli yapı malzemelerine agregata denilmektedir. Agregalar, beton hacminin %70 gibi büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır. Bu nedenden dolayı betonda kullanılacak olan agreganın kimyasal bileşimi, mineralojik ve petrografik özellikleri çok iyi bilinmelidir (Ünal, 2003).

Agreganın dayanımı hiçbir zaman çimentonun dayanımından az olmamalıdır. Agreganın dayanımı çimentonun dayanımından az olursa, yapılan betonun dayanımı çimento dayanımına erişmeden, agreganın kırılması nedeni ile betonda çatlama oluşacaktır. Bu durumda karışım oranını değiştirmek veya çimento miktarını arttırmak da yeterli olmayacaktır (Çelik vd., 2004).

Beton agregalarında aranan tüm özellikler TS 706 EN 12620+A1 (2009)'da belirtilmektedir. Agregalar bu standarda göre incelenmeli ve bu standardta atıf yapılan diğer standartlara göre deneyler yapılmalıdır. Yapılan bu çalışma kapsamında, Van ili Tuşba İlçesi Beyüzümü Mevkiinden alınan kireç taşlarının agregata olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Yapı malzemesi olarak kullanılan, doğal mineraller ve kayalar "Mineral Agregalar" olarak nitelendirilmektedirler. Agregata; her türlü bina inşaatını, yol, köprü, su yapıları, boru hattı gibi altyapı faaliyetlerini kapsayan geniş bir faaliyet alanına sahip olan inşaat sektörünün en önemli ham maddesidir. Dünyada kişi başına en fazla tüketilen maddeler su ve agregatadır. Dünya genelinde agregata üretimi % 58'lik pay ile tüm maden

üretimi içinde ilk sırada yer almaktadır (Öztürk vd., 2007).

2 MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında, blok olarak laboratuvara getirilen kireç taşlarından elde edilen deney numuneleri, ilgili standartlara göre test edilmiştir. Agregalar Van ilinin yaklaşık 5 km doğusunda bulunan Tuşba ilçesine bağlı Beyüzümü Mevkiinden temin edilmiştir.

Blok halindeki numunelerden önce tek eksenli basınç dayanımı deneyi için 5 adet karot alınmıştır. Daha sonra çeneli kırıcıdan geçirilen malzeme, TS EN 933-1 (2012)'ye göre farklı fraksiyonlara ayrılmıştır.

Laboratuvarda, agregata numuneleri üzerinde elek analizi (granülometrik analiz), çok ince malzeme miktarı, Los Angeles metodu ile parçalanma direnci tayini, tane yoğunluğu, su emme oranı, yığın yoğunluğu, tek eksenli basınç dayanımı, donmaya ve çözülmeye karşı direnç tayini sonrası kütle kaybı, potansiyel alkali silis reaktivitesi, asitte çözünebilir sülfat, klor ve organik madde deneyleri, Türk Standartlarına göre yapılmış ekipman ve yöntemlerle belirlenmiştir.

3 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

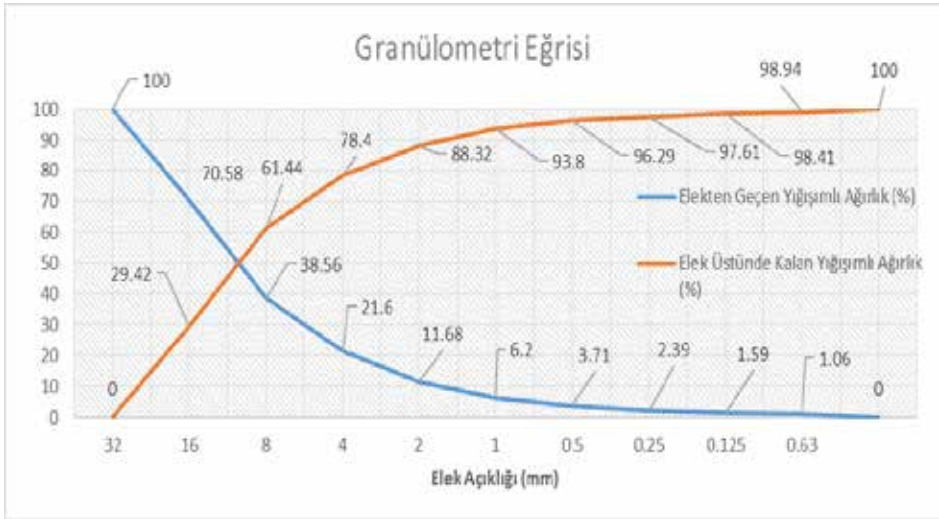
Aşağıda, kireçtaşı örnekleri üzerinde gerçekleştirilen deneyler ve elde edilen sonuçlar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

3.1 Elek Analizi

Ocaktan temin edilen numuneler elek analizine tabii tutulmadan önce blok numuneler çeneli kırıcıdan geçirilmiş ve daha sonra 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.250 mm, 0.125 mm, 0.063 mm açıklıklara sahip elekler kullanılarak TS EN 933-1 (2012) standardına göre elek analizi işlemi uygulanmıştır. Çizelge 1 'de yapılan elek analizi sonuçları sunulmuştur. Şekil 1.'de ise Elekten geçen yığılımlı ağırlık (%) ve elek üstünde kalan yığılımlı ağırlık (%) sütunları kullanılarak granülometri eğrisi çizilmiştir.

Çizelge 1. Elek Analizi Sonuçları

Tane İriliği	Elek Üstünde Kalan Ağırlık (gr)	Elek Üstü Kalan Yığışım Ağırlık (gr)	Elek Üstünde Kalan Yığışım Ağırlık (%)	Elekten Geçen Yığışım Ağırlık (%)
31.5 mm	0	0	0	100
16 mm	5218	5218	29.42	70.58
8 mm	5679	10897	61.44	38.56
4 mm	3012	13909	78.4	21.6
2 mm	1755	15664	88.32	11.68
1 mm	972	16636	93.8	6.2
500 µm	442.1	17078.1	96.29	3.71
250 µm	234.1	17312.2	97.61	2.39
125 µm	141.2	17453.4	98.41	1.59
63 µm	93.7	17547.1	98.94	1.06
Elek Altı	187.5	17734.6	100	0



Şekil 1. Granülometri Eğrisi

3.2 Çok İnce Malzeme Muhtevası

TS EN 933-1 (2012) standardına uygun olarak deney yapılmış olup, elek analizi sırasında en altta buluna 63 mikro metrelik eleğin altına geçen miktar %1.05 olarak hesaplanmıştır.

Örneğe ait Çok ince malzeme muhtevası izin verilen maksimum %3 değerinden düşüktür (%1.09) ve bu yüzden bu örnek Çok İnce Malzeme Muhtevası açısından ilgili standarda uygundur.

TS 706 EN 12620 (2009) standardına göre agregaların Çok İnce malzeme Muhtevaları;

Aşağıda belirtilen dört durumdan birinin söz konusu olması halinde zararsız olarak kabul edilmelidir.

- İnce agreganın toplam çok ince malzeme muhtevasının %3'ten veya agreganın kullanıldığı yerde geçerli olan mevzuata göre belirtilmiş olan başka bir değerden daha az olması,
- TS EN 933-8'e uygun olarak deneye tabi tutulduğunda kum eşdeğerinin belirtilen alt sınırı aşması,
- TS EN 933-9'a uygun olarak deneye tabi tutulduğunda metilen mavisi deneyinin (MB) belirtilen alt sınır değerinden daha küçük bir değer vermesi,
- Bilinen bir performans yeterliliğine sahip agreganın kine eşit performansın elde edilmesi veya herhangi bir problemle karşılaşmadan kullanım performans yeterliliğinin kanıtlanması.

3.3 Parçalanma Direnci Tayini (Los Angeles Aşınma Kaybı)

Los Angeles deneyi, aşınma ve darbelenme etkileri neticesinde agreganın standart gradasyonunun bozulmasının bir ölçümüdür.

Los Angeles Aşınma Kaybı deneyi kısaca şu şekilde gerçekleştirilmektedir;

10 mm – 14 mm arası 5 kg numune 31 – 33 devir / dakika olacak şekilde makineye 500 devir yaptırılır. Deney sonunda 1.7 mm elek kullanılarak malzeme elenir. Daha sonra

1.7 mm elek üzerinde kalan kısım yıkanır ve kuruması için 24 saat boyunca etüvde kurutulur.

Yapılan deney sonucunda numunelerin Los Angeles Darbeli Aşınma Kaybının %21.32 olduğu belirlenmiştir. Araziden alınan malzemenin aşınma yüzdesi değerinin, <%35 olduğu görülmüştür. Bu değer TS EN 1097-2 (2010) standardına göre uygundur.

Çizelge 2.'de En büyük Los Angeles katsayısı değerine göre kategoriler gösterilmiştir.

Çizelge 2. En Büyük Los Angeles Katsayısı Değerlerine Göre Kategoriler

Los Angeles Katsayısı	Kategori, LA
< 15	LA ₁₅
< 20	LA ₂₀
< 25	LA ₂₅
≤ 30	LA ₃₀
≤ 35	LA ₃₅
≤ 40	LA ₄₀
≤ 50	LA ₅₀
>50	LA _{beyan}
Serbest	LA _{NR}

3.4 Tane Yoğunluğu ve Su Emme Deneyi
Agreganın birim hacimdeki ağırlığının miktarının bilinmesi betonun kullanım alanlarını tespit etmede önemli unsurlardan biridir. Agregaların tane yoğunluğu gerçek birim hacmine karşılık gelen ağırlığı olarak tanımlanır. Agregaların tane yoğunlukları beton karışım oranları hesabı yapılırken kullanılmaktadır.

TS EN 1097-6 (2013) standardına göre piknometre ile yapılan tane Yoğunluğu ile su emme miktarı deneyleri sonucunda, agreganın tane yoğunluğu 2.67 gr/cm^3 (Mg/m^3), su emme oranı ise %0.27 olarak hesaplanmıştır.

3.5 Gevşek Yığın Yoğunluğu

TS EN 1097-3 (1999) standardına uygun olarak -25 +15 mm, -15 +5 mm ve -5 mm +0 mm olmak üzere üç farklı sınıflandırma yapılarak agregaların gevşek yığın yoğunlukları hesaplanmıştır. -25 +15 mm arası malzemenin yığın yoğunluğu 1.23 gr/cm^3 (Mg/m^3), -15 +5 mm boyutundaki malzemenin yığın yoğunluğu 1.29 gr/cm^3 (Mg/m^3) ve -5 mm +0 mm boyutlu malzemenin yığın yoğunluğu ise 1.35 gr/cm^3 (Mg/m^3) olarak belirlenmiştir.

3.6 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi genellikle küp veya silindirik numuneler üzerinde gerçekleştirilir. Tek eksenli basınç dayanımı değeri numunenin boy / çap oranı arttıkça azalır. Numunenin tek eksenli basınç dayanımı değeri (σ), yenilme yükünün (F) yük uygulanan numune yüzey alanına (A) bölünmesiyle hesaplanır.

Tek eksenli basınç dayanım deneyi TS 699 (2009)'a göre araziden alınan blok numunelerden alınan 5 adet karot üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, kayacın sınıflandırılmasında kullanılmıştır. Sonuçlar Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Tek Eksenli Basınç Değerleri

Karot No	Çap (Ø) (cm)	Boy (L) (cm)	Basınç Dayanımı (σ)
1	5.22	11.12	45.44 MPa
2	5.22	11.12	41.35 MPa
3	5.72	11.04	33.27 MPa
4	5.18	11.02	28.56 MPa
5	5.21	10.92	37.94 MPa
Ortalama			37.31 MPa

Deer ve Miller (1966) tarafından geliştirilen ve Çizelge 4'te belirtilen tek eksenli basınç dayanımına göre varılan sınıflandırmada bahsi geçen tasocağının 37.31 MPa ile "düşük dayanımlı kaya" sınıfına girdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4. Tek Eksenli Basınç Dayanımına Göre Kaya Sınıflandırması (Deer ve Miller, 1966)

Kaya Sınıfı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
Çok Düşük Dayanımlı	< 25
Düşük Dayanımlı	25 – 50
Orta Dayanımlı	50 – 100
Yüksek Dayanımlı	100 – 200
Çok Yüksek Dayanımlı	< 200

3.7 Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direnç

Donma-Çözölme deneyi, agreganın arka arkaya donma ve çözölme etkisine maruz bırakılması halinde gösterdiği davranış biçiminin belirlenmesi için yapılan bir deneştir.

Deney için TS EN 1367-1 (2009) standardı kullanılmıştır. Standartlara uygun olarak 8 mm ile 16 mm arasında çeneli kırıcıda kırılan agrega örneğinden 2 kg numune alınmıştır ve alınan bu 2 kg numune (M_1) 10 defa donma-çözölme döngüsüne tabi tutulmuştur. 10 günlük döngü tamamlandığında 4 mm göz açıklıklı elek kullanılarak eleğin üzerinde kalan malzeme yikanmış ve sabit kütleye gelmesi için etüvde kurutulmuştur. Sabit kütleye gelen malzeme miktarı hassas terazi ile tartılmış ve kütle (M_2) olarak kaydedilmiştir.

Donma-çözölme deneyi sonucundaki kütle kaybı (F), aşağıda belirtilen eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$F = [(M_1 - M_2) / M_1] \times 100$$

Donma-çözölme deneyi sonucu numunede meydana gelen kütle kaybı %0.19 olarak hesaplanmıştır.

3.8 Agregaların Potansiyel Alkali Reaktivitesinin Tayini (Harç Çubuğu yöntemi ve kimyasal yöntem)

Araziden alınan numunelerin alkali silika reaktiveteleri; hızlandırılmış harç çubuğu metodu TS 13516 (2012) ve kimyasal metot TS 2517 (2010) kullanılarak belirlenmiştir.

Deney numuneleri standartlarda belirlenen yöntemlere uygun olarak hazırlanmıştır. Hızlandırılmış harç çubuğu deneyinde, 25x25x285 mm boyutlarında harç çubukları hazırlanmış ve bu harç çubukları 80 °C NaOH tankında bekletilerek TS 13516 (2012) standardına göre 3, 7, 14 gün süreyle boy değişim ölçümleri yapılmıştır.

Kimyasal metotta ise; numuneler 0.250 mm boyutlu elekten tamamı geçinceye kadar çeneli kırıcıda ve agat havanda öğütülmüştür. Malzeme daha sonra 0.125 mm açıklıklı eleğe alınarak yıkanmıştır. 0.125 mm elek üzerinde kalan malzemeden 25 gr alınarak üzerine 25 ml NaOH eklenmiş ve 24 saat 80 °C su banyosunda bekletilmiştir. Daha sonra çözeltide alkali

azalması ve çözünen silis değerleri belirlenmiştir.

Yapılan ölçümler sonucunda agreganın genleşme miktarının TS 13516 (2012) standardına göre % 0.10'luk sınırın altında çıktığı (3 günlük: %0.01, 7 günlük: %0.01 ve 14 günlük: %0,02) belirlenmiştir. Kimyasal metotta ise Çözünen silis 1.2 mmol/l, Alkali azalması ise 40 mmol/l olarak belirlenmiştir. Her iki deney sonucu da örneklerin zararsız agregalar sınıfında olduğunu göstermektedir.

3.9 Asitte Çözünebilen Sülfat, Organik Madde ve Klor Tayini

TS EN 1744-1 (2013) standardına uygun olarak hazırlanan deney numunesi üzerinde gerçekleştirilen Asitte Çözünebilen Sülfat, Organik Madde ve Klor deneyleri neticesinde Asitte Çözünebilen Sülfat miktarı %0.12 olarak belirlenmiştir. Örneklerde, Organik Madde ve Klor ise bulunmamaktadır.

4 SONUÇLAR

Van ili Tuşba ilçesi Beyüzümü mevkiinden alınan kireçtaşı örneği üzerinde yapılan incelemeler sonucunda elde edilen bulgular bu kireç taşının her türlü beton agregası olarak kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığını göstermiştir. Agregalar üzerinde yapılan deneylere ait sonuçlar ve değerlendirmeler Çizelge 5'te toplu olarak sunulmuştur.

Çizelge 5. Kırmataş agregasında yapılan deneylere ait sonuçlar ve değerlendirme

Yapılan Deneş	Uygulanan Standart	Örnek Boyutu	Bulunan Değer	Değerlendirme
Çok İnce Malzeme Muhtevası	TS EN 933-1 (2012)	- 63 µm	% 1.05	% 3 Sınır değerinden düşük
LosAngeles Aşınma Kaybı	TS EN 1097-2 (2010)	10-14 mm	% 21.32	<25 LA ₂₅
Tane Yoğunluğu	TS EN 1097-6 (2013)	- 200 µm	2.67 gr/cm ³	Beyan değeri
Su Emme Oranı	TS EN 1097-6 (2013)	5-25 mm	% 0.27	Beyan değeri
Yığın Yoğunluğu	TS EN 1097-3 (1999)	-25+15mm	1.23 gr/cm ³	Beyan değeri
		-15+5 mm	1.29 gr/cm ³	Beyan değeri
		-5+0 mm	1.35 gr/cm ³	Beyan değeri
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	TS 699 (2009)	Karot (42 mmx84mm)	Ort: 37.31 MPa	Düşük dayanımlı kaya sınıfında
Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direnç	TS EN 1367-1 (2009)	8-16 mm	% 0.19	<1 F ₁ kategorisinde
Alkali Agrega Reaktivitesi	TS 13516 (2012)	Harç çubuğu 25x25x285 mm	(3 gün -7 gün - 14gün) (%0.01-%0.01-%0.02)	%0.10 sınır değerinden düşük
	TS 2517 (2010)	- 250 µm +125 µm	Çözönen Silis: 1.20 mmol/l Alkali Azalması:40mmo/l	Zararsız Agregalar Sınıfında
Asitte Çözönebilen Sülfat	TS EN 1744-1: 2009+A1 (2013)	- 250 µm	% 0.12	AS _{0.2}
Organik Madde Miktarı	TS EN 1744-1: 2009+A1 (2013)	0-25 mm	YOK	Beyan değeri
Klor Miktarı	TS EN 1744-1: 2009+A1 (2013)	0-25 mm	YOK	Beyan değeri

KAYNAKLAR

- Çelik, M., Kanıt, R., Uğur, L, O, 2004. Ankara İli ve Çevresinde Eşdeğer Jeolojik Formasyonlardan Sağlanan Kırmataş Agregalarının Beton Yapımına Uygunluğu, Cilt 7, Sayı 4, s.341-351.
- Deer, D. and Miller, R. P. 1966. Classification and Index Properties of Intact Rock Technician Report No: AFWL-TR-65-116, Air Force Special Weapons Laboratory, New Mexico, 120.
- Öztürk, Ö., Çelikkol, M., Erkan, M., 2007. Türkiye Agrega Sektör Raporu, Hazır Beton, Sayı 84, s.52-56.
- TS 13516 Agregaların Potansiyel Alkali Reaktivitesinin Tayini (Harç Çubuğu Yöntemi), 2012.
- TS 1744-1:2009+A1 Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler, 2013.
- TS 2517 Agregaların Potansiyel Alkali Reaktivitesinin Tayini (Kimyasal Yöntem), 2010.
- TS 699 Doğal Yapı Taşları İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, 2009.
- TS 706 EN 1260 Beton Agregaları, 2009.
- TS EN 1097-2 Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, 2010.
- TS EN 1097-3 Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini, 1999.
- TS EN 1097-6 Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, 2013.
- TS EN 1367-1 Agregaların Isıl ve Bozunma Özelliklerinin Tayini için Deneyler, 2009.
- TS EN 933-1 Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, 2012.
- Ünal, O, 2003. Afyon Yöresi Agregaların Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması, III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.

Volkanik Tüfün Harç İçerisinde Çimento Yerine Kullanılabilirliğinin Araştırılması *An Investigation into The Applicability of Volcanic Tuff As a Substitute for Cement in Mortar*

S. Beyhan, M. Özdemir

Dumlupınar Üniversitesi Maden Müh. Böl. Kütahya

İ.E. Akan

Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya

ÖZET Pozolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya bağlayıcılık değeri çok az olan, ancak çok ince öğütüldüklerinde sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleşerek hidrolik bağlayıcılık özeliği kazanan silikalı ve alüminalı malzemelerdir. Doğal pozolanlardan volkanik tüf portland çimentolu beton yapımında ve harçlarda katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada; Çanakkale-Ayvacık yöresine ait volkanik tüfün harçlarda çimento yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, çimento yerine %10, %20, %30 ve %40 oranlarında volkanik tüf, hazırlanan harçlar içerisine ikâme edilmiştir. Hazırlanan harçlarda Rilem Cembureau standart kumu ile CEM I 42,5R çimentosu kullanılmış ve su/çimento oranı 0,5 olarak alınmıştır. Hazırlanan harçlar 40x40x160 mm ebatlı kalıplara dökülerek 2, 7 ve 28 günlük kür süreleri uygulanmıştır. Kür sonunda numunelere eğilme, basınç ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Aynı deneyler hazırlanan şahit numunelere de uygulanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda katkı miktarına bağlı olarak meydana gelen değişimler incelenmiştir.

ABSTRACT Pozzolans which have no binding characteristic or a little bit are materials in their structure. But, when they are ground in fine sizes, as they combine with calcium hydroxide in aqueous media, they are formed as siliceous and alumina material obtaining hydraulic binding characteristic. Volcanic tuff that is natural pozzolan is used as both in production of concrete with portland cement and additive in mortar. In this study, instead of cement, Çanakkale-Ayvacık region volcanic tuff's applicability experiments were performed in concrete. For that purpose, instead of cement, volcanic tuff was added with 10%, 20%, 30% and 40% percentages into mortar mixture. Mixture consisted of Rilem Cembureau standard sand, CEM I 42.5R cement and water/cement rate as 0.5. Prepared mortars were moulded into 40x40x160 mm plates and carried out in 2, 7 and 28 days cure periods. At the end of the cure periods, bending, pressure and ultrasonic pulse velocity experiments were conducted to samples. In addition, same experiments were performed to check samples. As a result of studies, depending upon additive amounts, occurring changes were investigated.

1 GİRİŞ

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık gösterebilen, fakat ince taneli durumda olduklarında ve sulu ortamda kalsiyum hidroksit $[Ca(OH)_2]$ ile birleştiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip olan silisli ve alüminli malzemeler (Erdoğan, 2003) olarak tanımlanmaktadır.

Puzolan özelliğine sahip malzemelerin kireç ve su ile reaksiyona girmesi yavaş olmasına rağmen sürekli şekildedir. Reaksiyonun oluşabilmesi için puzolan malzemenin çok ince öğütülmüş olması gerekmektedir. Puzolanın normal sıcaklıkta kireç ve su ile reaksiyona girerek, sertleşme özelliği kazanmasına puzolanik özellik denilmektedir. Bu özelliğe sahip olan maddelere ise genel olarak puzolanik maddeler adı verilir. Puzolanların hammaddesi genellikle silis, alümin ve demiroksittir (Akgül, 2006).

Betonda katkı maddesi olarak kullanılan mineral malzemelerin en az çimento boyutunda öğütülmeleri gerekmektedir. Uçucu kül ve silis dumanı gibi yapay puzolanlar ince taneli malzemeler oldukları için genellikle öğütülmelerine gerek yoktur. Ancak; volkanik tüf, granüle yüksek fırın cürufu, pişirilmiş kil gibi bazı malzemelerin beton katkı maddesi olarak kullanılabilirliği için, öğütülmeleri ve tanelerinin inceliğinin en az portland çimentosu boyutuna getirilmeleri gerekmektedir. Doğada bulunan ve ince taneli duruma getirildikten sonra kalsiyum hidroksit ve su ile birleştirildiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliği gösteren silisli ve alüminli malzemelere, doğal puzolanlar denilmektedir (Sarıbıyık, 2016).

CaO , MgO ve SO_3 gibi bazı zararlı maddeler çimentoda hacim genişmesine neden olmaktadır. Bu nedenle CaO miktarının kütlece %3, MgO miktarının ise kütlece %4,5'ten fazla olmaması gerekmektedir (Canpolat vd. 2003, Yetkin vd. 2005). Volkanik tüf ve volkanik kül gibi

doğal puzolan malzemeler, öğütülme inceliklerine bağlı olarak CaO , MgO ve SO_3 gibi bu zararlı maddelerle tepkimeye girmekte ve bunların çimento içerisindeki oranlarını düşürmektedir (Yetkin vd. 2005).

Doğal puzolanların öğütülebilirleri son derece kolaydır. Bu sayede çimento hamurundaki mikro boşluklara kolayca girmekte ve çimentonun dayanıklılığını artırmaktadırlar (Shannag 2000, Sabir vd. 2001, Pan vd. 2003, Yetkin vd. 2005). Ayrıca, doğal puzolanlar çok ince öğütüldükleri için taze betonun kıvamını ve dolayısıyla işlenebilirliğini de iyileştirmektedir (Yetkin vd. 2005). Ancak doğal puzolanlar çok ince öğütülerek harç ve betonda çimento yerine kullanıldıkları için yüksek su emme kapasitesine sahip olmaktadır. Bu durum çimentonun da toplam özgül yüzeyini artırarak daha fazla su emmesine neden olmaktadır.

Tüfün sıva harcı olarak kullanımına yönelik çalışmada, yapılan deneysel analizlere göre sıva harcı olarak kullanıma uygun olduğu belirtilmiştir (Bekar, 2006). Doğal puzolan katkı oranının çimento dayanımına etkisine yönelik bir başka çalışmada ise, doğal puzolan türü ve inceliği sabit tutularak, %0, %10, %20, %25, %30, %35 kütle oranlarında tras içeren çimento üretilmiş, tras oranı artışıyla, çimentonun erken yaştaki dayanımını belirgin ölçüde düşürdüğü ayrıca betonun, hacim genişleme oranını yaklaşık 2/3 oranında azaltarak beton dayanıklılığına önemli oranda katkı sağlayabilecek bir özellik kazanmış olduğu belirtilmektedir (Yetkin, 2005).

Bu çalışmada, harç içerisinde portland çimentosu yerine değişik oranlarda çalışma konusu olan volkanik tüfün çok ince öğütülerek ($-105\mu m$) ikame edilmesi suretiyle basınç ve eğilme dayanımı ile ultrases geçiş hızına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2 ÇALIŞMA MALZEMELERİNİN ÖZELLİKLERİ

Deneylerde kullanılan volkanik tuf Çanakkale ili Ayvacık yöresine ait olup, malzemenin ve deneylerde kullanılan CEM I 42,5 R portland çimentosunun kimyasal özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. CEM I 42,5 R portland çimentonun ve volkanik tufün kimyasal analiz değerleri

Numune No	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	KK	Toplam
Tuf (T)	65,22	16,03	1,75	2,70	1,80	1,97	3,40	-	0,22	6,43	99,52
CEM I 42.5R	18,90	5,15	3,36	1,57	63,6	0,40	0,77	2,65	-	3,59	99,99

Doğal puzolanların SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ değeri en az %70, MgO değeri en çok %5 ve SO₃ değeri de en çok %3 olmalıdır. Çizelge 1’den görüldüğü üzere, volkanik tufün SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ değeri %83, MgO değeri de %2,70’dir. Doğal puzolandaki SiO₂ içeriğinin yüksek olması puzolanik aktiviteyi artıran önemli bir etkidir (Yetkin vd 2005).

DeneySEL çalışmalarda kullanılan Rilem Cembureau standart kumunun granülometrisi bileşimi Çizelge 2’de verilmektedir. Standart kum Limak Çimento A.Ş. Trakya fabrikasından temin edilmiştir

Çizelge 2. Rilem Cembureau standart kumunun granülometrisi

Elek açıklığı (mm)	2	1,6	1,0	0,5	0,16	0,08
Kümülatif E.A (%)	0	7±2	33±2	67±2	87±2	99±1

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Harçların Hazırlanması

Kontrol harç içerisinde 450 gr çimento (CEM I 42,5R), 1350 gr standart kum ve 225 gr şebeke suyu kullanılmıştır. Çimento harç numunelerinin hazırlanmasında TS EN 196-1 uygun Rilem-Cembureau standart kumu kullanılmıştır (TS EN 196-1, 2002). Katkılı çimento harcı hazırlanmasında ise çimentoya ikame olarak kullanılan tuf, toplam bağlayıcı miktarı sabit tutularak çimento ağırlığının %10, %20, %30 ve %40’ı oranlarında kullanılmıştır. Katkılı

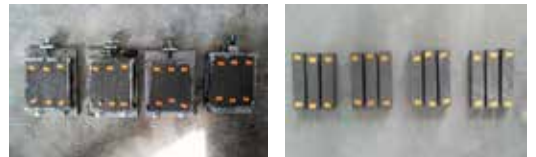
çimento harcı için standart kum ve su/katı oranı (0,5) sabit kalmak şartıyla, çimento miktarı değiştirilmiştir. Deneylerde kullanılan doğal puzolan (volkanik tuf) çeşitli aşamalardan geçirilerek -105µm boyutunda olacak şekilde öğütülmüştür. Harç malzemesi oranları ve karışım miktarları Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Harç malzemesi oranları ve karışım miktarları

Karışım oranları	Karışım miktarları (gr)				
	Çimento	Tuf	Kum	Su	Toplam
Kontrol	450	-	1350	225	2025
%10	405	45	1350	225	2025
%20	360	90	1350	225	2025
%30	315	135	1350	225	2025
%40	270	180	1350	225	2025

Çimento harçları, 40×40×160mm boyutlu çelik kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 1).

Harç numuneleri, 20±2 °C sıcaklık ve %90’dan fazla bağıl neme sahip kür dolabında 24 saat bekletilmiş ve daha sonra 2, 7 ve 28 gün 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip su havuzunda küre tabi tutulmuştur (Şekil 2).



Şekil 1. 40x40x160 mm ebatlı kalıplara dökülmüş harç numuneleri

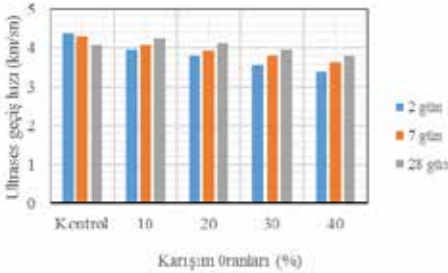


Şekil 2. Numunelerin kür havuzunda bekleme durumları

Kür havuzundan alınan numuneler önce ağırlıkları tartılmış daha sonra sırasıyla ultrases geçiş hızı, eğilme ve basma dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur.

3.2 Ultrases geçiş hızının belirlenmesi

Belli oranlarda çimentoya ikame olarak kullanılan tüfün karışım oranlarına ve kür sürelerine bağlı olarak belirlenen Ultrases Geçiş Hız değerleri Şekil 3'de verilmektedir. Deneyler de Proceq marka Pundit Lab Ultrases Hız cihazı kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 3. Ultrases geçiş hızı deney sonucunun grafiksel gösterimi



Şekil 4. Ultrases geçiş hızı deneyinin gösterimi

3.3 Eğilme Dayanımı Deneyi

Harç numunelerin eğilme deneyi, numunenin ortasına gelecek şekilde tek noktadan yükleme yapılarak uygulanmıştır. Yükleme hızı saniyede 0,4 kN/sn olacak şekilde ayarlanmış ve eğilme dayanımı (R_f), Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanmıştır (TS EN 196-1).

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b^3} \quad (1)$$

Burada;

R_f : Eğilme dayanımı (N/mm²)

B : Kare kesitin kenar uzunluğu (mm)

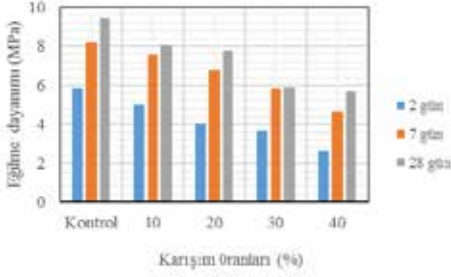
F_f : Uygulanan kuvvet (N)

L : Mesnet silindirleri arası uzaklık (mm)

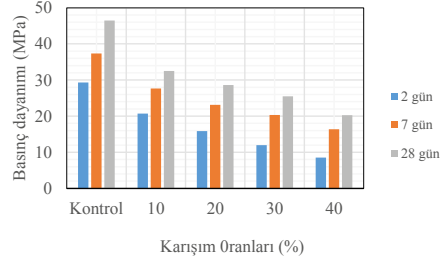
4 farklı karışım oranına ait ve her bir karışım için 40x40x160 mm'lik kalıplarda hazırlanan harç numuneleri TS EN 196-1 standardına uygun olarak deney cihazına yerleştirilmiştir. Yük, hidrolik pres ile numunenin karşı yan yüzünden dik olarak ve 0,4 kN/sn sabit hızda olacak şekilde numune yenilinceye kadar yük uygulanmıştır (Şekil 5). Daha sonra Eşitlik 1 yardımıyla her bir numunenin eğilme dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Deney sonuçları Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 5. Eğilme dayanımı deneyi düzeneği



Şekil 6. Eğilme dayanımı deney sonuçlarının grafiksel gösterimi



Şekil 8. Basınç dayanımı deney sonuçlarının grafiksel gösterimi

3.4 Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyinde, eğilme deneyinde iki parçaya bölünmüş olan yarım numuneler kullanılmıştır. Her bir parça 40x40 mm'lik iki aparatın arasında basınç cihazının yükleme plakaları arasına yerleştirilerek, yan yüzeylerinden yüklemek suretiyle deneye tabi tutulmuştur (Şekil 7). Yükleme hızı 1,5 MPa/sn hızda olmak üzere sabit şekilde, numune yenilinceye kadar yük uygulanmıştır. Eşitlik 2 yardımıyla her bir numunenin basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir (Ünsal vd, 2008). Deney sonuçları grafiksel olarak Şekil 8'de verilmektedir.

$$R_c = \frac{f_c}{1600}$$

(2)

Burada;

R_c : Basınç dayanımı (N/mm²)

f_c : Numuneye uygulanan yük (N)

1600 : Plakaların veya yardımcı plakaların (40x40) alanı (mm²)



Şekil 7. Basınç dayanımı deneyi düzeneği

4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Yapılan bu çalışma sonucunda, harçlarda çimento yerine ikame olarak volkanik tüf katkısının, ağırlık olarak çimentonun %10'u oranında kullanılması durumunda 28 günlük kür süresinde kontrol numuneye yakın değerler elde edilmiştir. Bu katkının %20 olması durumunda ise 28 günlük kür süresinde elde edilen değer yaklaşık %60'ı civarında kontrol numuneye yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca; yapılan çalışma sonucunda, yöreye ait tüfün puzolanik özellik sergilediği belirlenmiş olup şap, sıva, yapıstırıcı gibi malzemelere hammadde olabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla buna yönelik olarak daha detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Doğal puzolan ürünlerinin çimentoya ikame olarak kullanılması durumunda, çimento hammaddesinden ekonomik katkı sağlanacağı, çimento tüketiminin azalacağı ve böylece çimentonun üretimdeki enerji maliyetinden de tasarruf sağlanabileceği böylece daha ucuz malzeme üretilebileceği düşünülmektedir. Bu çalışma da elde edilen sonuçlar bu amaç doğrultusunda umut verici olarak değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akgül, E, 2006. Datça Bölgesindeki Volkanik Tüflerin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, İTÜ, Fen Bil. Ens. İstanbul.
- Bekar, M., Şapçı, N., Gündüz, L., 2006. Aksaray Bölgesi Volkanik Tüf Serilerinin Sıva Malzemesi

- Olarak Kullanımı, IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu. İstanbul.
- Canpolat, F., Yılmaz, K., Köse, M., Sümer, M., ve Yurdusev, M., 2003. Use of Zeolite, Coal bottom ash and fly ash as replacement materials in cement prediction, *Cem. and Concr. Res.*, 2324.
- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton, ODTÜ Yayınları, Ankara.
- Pan, S., Tseng, D., Lee, C. C., Lee, C., 2003. Influence of the fineness of sewage sludge ash on the mortar properties, *Cem. Concr. Res.*, 33, 1749-1754.
- Sabir, B., Wild, J., Bai, J., 2001. Methacholine and calcined clays as pozzolan for concrete: a review, *Cement and Concrete Comp.*, 23, 441-454.
- Sarıbıyık, M., 2016. Beton Katkı Maddeleri Ders Notları Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fak., İnşaat Müh. Böl.
- Shannag, M., 2000. High Strenght Concrete containing natural pozzolan and silica fume, *Cement and Concrete Comp.* 22, 399-406.
- TS EN 196-1. Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım, 2002.
- Ünsal A, Şen H. Beton ve beton malzemeleri laboratuvar deneyleri, T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Bşk. 2008, sy: 236.
- Yetkin, Ş., Çavdar, A, 2005. Doğal Puzolan Katkı Oranının Çimentonun Dayanım, İşlenebilirlik, Katılaşma ve Hacim Genleşmesi Özelliklerine Etkisi, *Fırat Üni. Fen ve Müh. Bil. Der.* (4), 687-692s.

Kütahya Ilıca Bölgesi Bazaltlarının Kıırma Taş Olarak Değerlendirilmesi *Evaluation of Basalt as Aggrega Located in Kutahya Ilıca Region*

C. Doęruöz¹, M. Demirbilek², A. Uçar¹, Ü. Arslan¹, Y. Kibici², K. Oęul³

¹(Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya)

²(Dumlupınar Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya)

³(TCDD, Eskişehir)

ÖZET Türkiye’de birçok bölgede yaygın olarak bulunan bazalt, son yıllarda kullanımının artması nedeniyle kırmataş madencilğinde önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, Kütahya’nın Ilıca yöresinde bulunan bazalt ocağından alınan numuneler üzerinde elek analizi, petrografik ve bazı kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Yapılan elek analizine göre patlatma sonucu elde edilen malzemenin tane boyut dağılımı ve kapasite birincil kırıcı için uygun olduğu belirlenmiştir. Yapılan petrografik incelemelere göre kayacın esas olarak plajiyoklas, piroksen ve olivin minerallerinden oluştuğu, ikincil mineraller olarakta kalsit ve klorit içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca kayaçta iddingsitleşmesinde olduğu ortaya çıkarılmıştır. Kaya mekanik parametrelerinden biri olan schmidt cekici ile yerinde ölçümler yapılmış olup değerlerin 33.8 ile 47.4 arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir.

ABSTRACT Basalt is widely used in different regions in Turkey and due to the increase of basalt requirements in recent years, it has an important role in aggrega mining. In this study, sieve analyses, petrographic analyses and some rock mechanics tests were applied on the basalt samples collected from the basalt quarry located in Ilıca region in Kütahya city. According to the sieve analyses results, it has been determined that the particle size distribution and capacity are available for primer crushing after the blasting operation. Depending on the petrographic analyses, the rock is fundamentally made up of plagioclase, pyroxene and olivine minerals, and also includes calicte and chlorite as secondary minerals. Moreover, there is forming of iddingsite in the rock. Schmidt hammer hardness tests were carried out in situ and the values are varied between 33.8 and 47.4.

1 GİRİŞ

Yeryuvarı değişik biçimli kayaçlardan oluşmuş katı bir kabuk ile çevrilmiştir. Bu kayaçlar mineral topluluklarıdır; ya çeşitli minerallerin veya mineral ve kayaç parçacıklarının biraraya gelmesinden, yahutta tek bir mineralin çok sayıda birikmesinden meydana gelirler. Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte insanoğlunun ihtiyaçları da kayaçların kullanımı konusunda hızla artmıştır. İnşaat sektörü, ulaşım sektörü vb. sektörler insanoğlunun isteklerini yerine getirmek için

gelişmekte ve bunun sonucu olarak temel yapı malzemelerine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır.

Günümüzde dünyada ve ülkemizde artan nüfus ve teknolojinin gelişmesiyle yapıların bünyesinde de pozitif yönde değişimler meydana gelmiştir. Malzeme yeryüzündeki yapıları oluşturan en önemli parametrelerden bir tanesidir. Kırmataş yapı malzemeleri arasında önemli bir yere sahiptir ve son yıllarda büyük ölçüde önem kazanmıştır. Günümüzde birçok problemin çözümü için alt yapı projeleri hazırlanmakta bu projeleri

gerçekleştirmek içinde hammaddeye ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda artan projeler sebebiyle kırmataş ihtiyacını karşılamak için birçok kırmataş ocağı açılmıştır.

İnsanoğlunun yaşanabilir bir ortam oluşturabilmek için verdiği çaba, gelişen teknoloji ile birlikte ihtiyaç duyduğu projelerin hayata geçirilmesi gibi durumların oluşabilmesi için geçmiş zamanlarda olduğu gibi günümüzde de doğal kaynaklardan yararlanma yoluna gidilmiştir.

Çeşitli minerallerin bir araya gelmesinden oluşan bazalt kayacının fiziksel ve kimyasal özellikleri kalkere göre daha iyi sonuçlar verdiği için birçok sektörde bazalt kayacı kalkerin yerini almaya başlamıştır.

Bazalt yapısal olarak aşınmaya, iklim şartlarına ve zamana karşı çok dayanıklıdır. Dayanıklı olması ve renk özelliğinin de kullanılabilir olması sebebiyle mimari projelerde, zemin, cephe kaplamalarında değişik oranlarda agrega olarak beton bileşiminde, balast taşı olarak raylı yollarda, cam seramikte ve mineral tabanlı yalıtım sistemleri gibi geniş bir yelpazede kullanım alanı sağlamaktadır. Bazalt kayacının kırmataş olarak kullanılması yapıların kalite ve dayanımlarını artırdığı bilinmektedir. Ülkemizde birçok bölgede yaygın olarak bulunan bazalt kayacı, son yıllarda kullanımının artması nedeniyle birçok yatırımcının açık işletme olarak bazalt kayacından çeşitli ürünler elde etmesine olanak sağlamıştır.

Bazaltların, beton agregası ve mıcır malzemesi olarak kullanılmaya elverişli olduğu belirlenmiştir. Yüksek MgO değerinin betonda alkali karbonat reaktivitesine yol açabileceği düşünülerek beton üretiminde çok ince boyutlu agreganın kullanılmasından kaçınılması gerekmektedir (Alemdağ ve ark., 2015).

Bazaltların demiryollarında balast malzemesi olarak kullanılabilirliğini belirlemek için laboratuvar deney sonuçları TS EN 13450 (2013) standardındaki sınır

değerleri ile karşılaştırılmış ve bazaltların tüm özelliklerinin balast malzemesi olmaya uygun olduğu görülmüştür (Alemdağ ve ark., 2015).

Bazaltların tahkimat malzemesi olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi sonucunda, Karayolları Teknik Şartnamesi (2006)'da verilen özellikleri taşıdığı ve tahkimat malzemesi olarak kullanılabilceği belirlenmiştir (Alemdağ ve ark., 2015).

Doğu Akdeniz yöresi bazaltlarında yapılan Tek eksenli basma dayanımı endirekt çekme dayanım değerlerine göre, yüksek dirençli kaya sınıfında yer aldığı, darbe dayanımlarının çok iyi olduğu, Los Angeles aşınma deneyi sonucuna göre, darbeli aşınma dayanım değerleri bakımından gerek 100 devir ve gerekse 500 devir için elde edilen değerlerin standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen analiz ve deneyler sonucunda elde edilen değerleri TS 2513 "Doğal Yapı Taşları, TS 699 'Tabii Yapı Taşları Agregaları ve Deney Metotları'" TS 706 "Beton Agregaları" ve TCK'nın "Fenni Şartnamesi"nde aranan özelliklere uygun olduğundan, bu taşocaklarından elde edilen kireçtaşlarının alt temel malzemesi, asfalt mıcırı, beton agregası, yapı malzemesi olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır (Keskin ve ark., 2003).

Mahmatlı (Gölbaşı-Ankara) bazalt inceleme sahasının temelinde Neojen yaşlı killi kireçtaşı, kumtaşı ve killi (bentonitik) seviyeler içeren genç çökeller yer alır. Bölgede Mahmatlı Bazaltı olarak bilinen Orta-Üst Miyosen yaşlı bazaltlar bazaltik lavlar, Alt-Orta Miyosen yaşlı piroklastik kayalar geniş yayılım sunarlar (Uz ve ark., 2009).

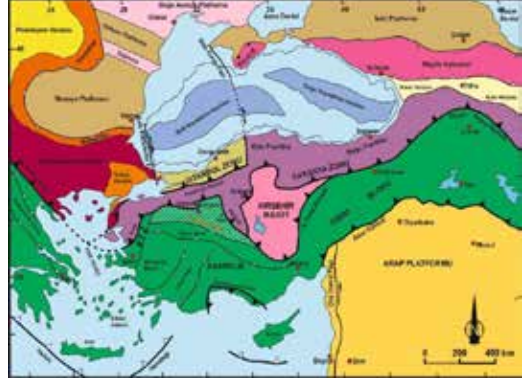
Tekirdağ'ın kuzey batısında yer alan Bıyıklı-Hacıköy sahasında yer alan bazaltlar, masif, kırıklı, çatlaklı ve ayrışım göstermezler. Mineralojik ve kimyasal analizler, bazaltların demirce zengin (9,5-10) yüksek potasyumlu, kalkalin özellikte tipik

bir "Olivinli Bazalt" olduğunu ortaya koymaktadır. Mekanik özellikler, bazaltların daha yoğun (2.85-3.00 gr/cm³), boşluk ve su emme oranları oldukça düşük değerlerde (%0.1- 0.2) ve tek eksenli basınç dayanımı ise ortalama 1250 kg/cm², bunun derine doğru artacağı (1700-1800 kg/cm²) beklenmelidir (Uz., 1999).

Niğde yöresi bazaltları agrega özellikleri nedeniyle araştırmaların üzerinde gerçekleştirildiği bazalt agregalarına ait özelliklerin standartlarda belirtilen kabul edilebilir limitler içinde bulunması veya bu limit değerlere çok yakın olması nedeniyle beton agregası olarak kullanılmaları uygundur. Karataş volkanitlerine ait bazaltlar diğer bazaltlara göre fiziksel ve mekanik özelliklerin bakımından, alternatif beton agregası olarak özel bir öneme sahiptir (Korkanç ve ark., 2003). Yukarıda farklı bölgelerdeki bazaltlara alternatif olabilecek gerek Kütahya bölgesi gerekse Kütahya iline yakın illerin ihtiyacını karşılayabilecek Ilıca bazaltları da İnşaat sektörü, ulaşım sektörü vb. sektörler açısından değerlendirilebilecek konumdadır.

2 ILICA YÖRESİ JEOLJİSİ

Tavşanlı Zonu oldukça karmaşık tektonik özellikler sergileyen bir bölge içinde oluşmuştur. Anatolid-Torid Bloğunun kuzey ucunda yer alan zon bu bloğun Kretase'de yüksek basınç-düşük sıcaklık (YB-DS) koşullarında metamorfizma geçirmiş kesimine karşılık gelir (Şekil 1). Batıda Mustafakemalpaşa güneyinden Mihaliçcik-Yunak hattına kadar doğu-batı yönünde 280 km uzanan Tavşanlı Zonu, kuzeyde İzmir-Ankara kenedi boyunca Sakarya Zonu ile sınırlanır, batıda Bornova Fliş Zonu, güneyde ise Afyon Zonu ile dokanaktadır (Okay, 2011; Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek).

(Açıklamalar; İAKK: İç Anadolu Kristalen Kompleksi; BFZ: Bornova Fliş Zonu)

Kütahya'nın yaklaşık 30 km kuzeydoğusunda (Şekil 2) Tavşanlı Zonu içinde kalan inceleme alanında en yaşlı birimi Üst Kretase yaşlı Beşçam Formasyonu oluşturmaktadır, bu birimin üzerine Orta-Üst Miyosen yaşlı tüf, tüfit, aglomera ve kireçtaşı birimlerinden oluşan Tavşanlı volkanitleri diskordan olarak gelmektedir. Bu birimin üzerine ise Geç Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Karacaören volkanitleri uyumlu olarak gelmiştir. Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ve traverten birimleri ise diğer birimleri diskordan olarak örtmektedir (Şekil 3).

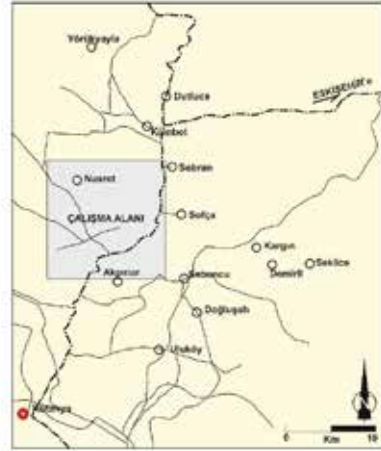
Beşçam melanji bölgede serpantin, peridotit, hornfels ve radyolaritler ile temsil edilmektedir. Vıçıl (1982) birimi Yalamapınar Karmaşık serisi olarak ele alırken, Okay (1981) Ofiyolitik karmaşık, Akat ve diğ. (1978) renkli melanj ve Ergül ve diğ. (1986) Yayla Melanjı olarak tanımlamışlardır.

Tavşanlı Volkanitleri bölgede düşük kotlarda konglomera, aglomera ve üst kotlara doğru kırmızımsı renkli kireçtaşı, kırıklı tüf ve tüfit en üst seviyelerde marn arakatlı ince dolomitik kireçtaşı seviyesiyle temsil edilmektedir.

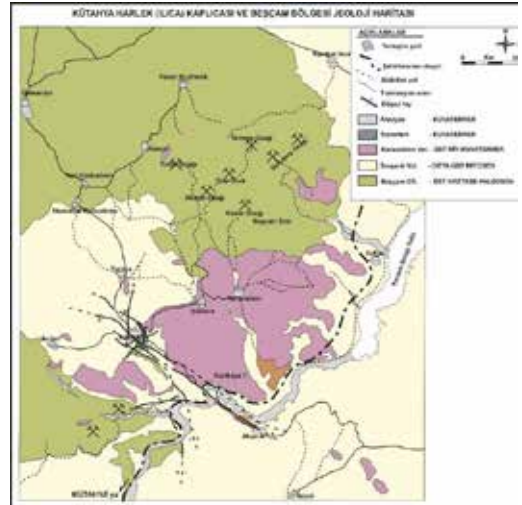
Karacaören Volkanitleri bazalt lavlarla temsil edilmektedir. Baş (1983) bu birimi Karaköy Volkanitleri olarak adlandırmış olmasına rağmen inceleme alanında Karacaören Köyü civarında tipik olarak görüldüğü için tarafımızdan da Karacaören Volkanitleri (Demirbilek, 2005) olarak adlandırılmıştır (Şekil 3). Kütahya ve çevresinde pek çok çalışmada volkanitler Kuvaterner çökellerinin hemen altında Miyosen öncesi tüm birimleri kesmiş veya örtmüş durumda gösterilmiştir (Akdeniz ve Konak, 1979; Gün vd., 1976, 1979; Yalçın, 1984; Helvacı, 1986a, 1986b; Dündar vd., 1986; Arık ve Temur, 2003; Yükcünç, 2007; Üstün, 2008). Bu araştırmaların bazılarında volkanitler (Akdeniz ve Konak, 1979; Gün vd., 1976; 1979) Kütahya civarında olduğu gibi herhangi bir veri bulunmaksızın stratigrafik konumuna göre dayandırılarak yaşlandırılmıştır (Özkul, 2016). Bu bilgiler ışığında araştırmaya konu olan olan volkanitler Kütahya ve çevresinde yüzeyleyen ve daha önce jeokronolojik olarak yaşlandırılmamış kayaları kapsamaktadır. Bölgedeki bazaltlar gri, siyah, kısmen kahverengimsi renkleri ile dikkat çekmektedir. Sert bir yapıya sahip ve sistemsiz eklemleri mevcut olup bol kırıklı ve kırık araları açıktır. İnce gaz boşlukları içeren birimin gaz boşlukları çoğunlukla kalsit ile doldurulmuştur.

İnceleme alanında en genç birimler alüvyonlarla ve İlıca bölgesinde görülen travertenler ile temsil edilmektedir. Alüvyon başlıca Çay Dere ve Sofça Köyü kuzeyinde, inceleme alanının güney ve güney batısından geçen Porsuk Çayı ve Çay Dere yatağında gözlenmektedir (Şekil 3).

Travertenler ise başlıca sıcak su kaynakları yakınlarında büyük-küçük domlar halinde sıcak su çıkışlarının bulunduğu mağaralarda bulunmaktadır. Beyaz, kirlı-beyaz renklerde gözlemlenen travertenler İlıca güneybatısında görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 2. İnceleme Alanının Yerbulduru haritası.



Şekil 3. Kütahya Harlek (İlıca) Kaplıcası ve Beşcam Bölgesi Jeoloji Haritası (Demirbilek, 2005).

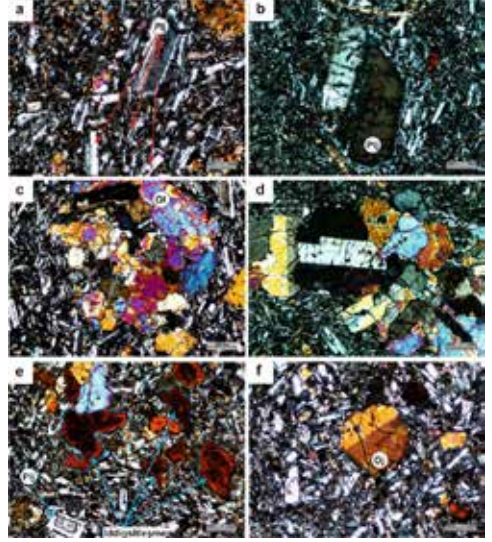
3 ILICA BAZALTLARININ MİNERALOJİSİ VE PETROGRAFİSİ

Bölgeden alınan Karacaören Volkanitlerine ait örneklerde yapılan petrografik incelemeler sonucunda kayaçtaki açık renkli bileşenler plajiyoklas, koyu renkli bileşenler ise ojit, olivin, nadiren biyotit ve Fe-Ti oksit bileşimindedir. İkincil mineral olarak yer yer kalsit ve kloritten oluşmaktadır. Plajiyoklaslar, genellikle yarı özşekilli/özşekilli fenokristaller ve mikro fenokristaller halinde birbirine paralel ince lameller şeklinde polisitetik ikizlenme (albit ikizi) göstermektedir (Şekil 4a). Tek nikelde renksiz, çapraz nikelde gri ve beyaz renkler vermektedir. Bazı mikro fenokristallerde kırılmalar ile birlikte yer yer zonlanmalar dikkat çekmektedir (Şekil 4a,b). Olivinler, genellikle özşekilli ve yer yer özşekilsiz fenokristaller halindedir. Altı ve sekiz köşeli kristalleri ile düzgün olmayan çatlaklar göstermektedir. Tek nikelde renksiz, çapraz nikelde II. ve III. sıranın canlı girişim renklerinde görülürler (Şekil 4c,d). Bu mineraller hamurda ise özşekilsiz mikro taneler halinde bulunur. Yüksek ısılarda Fe⁺³ getirimi sonucu kayaçta sarımsı kahverengimsi, zayıf pleokroik iddingsit oluşumları kayaca kırmızımsı bir renk kazandırmıştır. İddingsit oluşumları olivinlerin çevresinde çoğunlukla kristalin şekline uygun bir kenar zonu boyunca görülmektedir (Şekil 4e). Proksen mineralleri kısa-prismatik ve sekiz köşeli fenokristal kesitleriyle tipik özellik sunmakta ve ikizlenme göstermektedir. Hemen hemen renksiz-grimsi yeşil ve çok zayıf pleokroizma gösteren proksenler +25 ile +45 arasında eğik sönme açısı gösteren ojit bleşimindedir (Şekil 4f).

Bölgeden farklı noktalardan alınan numunelerin petrografik incelemelerine göre ojit bazalt, ojitli bazaltik andezit, camsı bazaltik trakiandezit ve trakiandezit bileşimli bazaltlar, hyalo-mikritik porfirik, hyalo-

porfirik, vesiküler, intergranüler, intersertal ve trakitik doku göstermektedir.

Opak mineraller genellikle hamurda yarı özşekilli kristaller halinde ve/veya mineraller içinde kapanım şeklinde bulunurlar.



Şekil 4. Ilıca yöresi bazaltlarına ait mikroskopik görüntüleri; özşekilli ve uzun latalar şeklinde gözlenen plajiyoklas fenokristalleri ve mikrolitleri(a-f), çoğunlukla plajiyoklas mikrolitleri ve volkanik camdan oluşan hamur içinde özşekilli/yarıözşekilli olivin fenokristalleri(c,d), özşekilli/yarı özşekilli ojit fenokristalleri(e), olivin ve ojit minerallerinde gözlenen iddingsitleşmeler(f). (a-f; çapraz nikel, Plj; Plajiyoklas, Oj; Ojit, Ol; Olivin).

4 ILICA YÖRESİ BAZALTLARININ MADENCİLİK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ilıca yöresinde iki adet firmaya ait ruhsat sahalarında açık işletme yöntemi ile üretim yapılmaktadır. Ocaklarda oluşturulan basamaklarda delme patlatma yöntemleri ile gevşetilen bazalt kepçelerle kamyonlara yüklenip kırma-eleme tesislerine

taşınmaktadır. Bu çalışmada gökkuşağı madencilik şirketine ait sahalarda ön araştırmalar yapılmıştır.

Sahaya ait üretim bilgileri;

Yılda çalışacak ay sayısı: 12 ay

Yılda çalışacak gün sayısı: 300 gün/yıl
(Hafta sonu tatilleri, bayram tatilleri hava koşullarından kaynaklı çalışılmayan günlerin ortalaması alınmıştır).

Günde çalışılacak saat: 8 saat/gün (çift vardiya)

Yıllık üretim miktarı: 380 000 ton/yıl

Günlük üretim miktarı: 1266 ton/gün

Saatlik üretim miktarı: 158.33 ton/saat

Ayrıca ocak sahası içerisinde kayaç kalitesi hakkında bir ön fikir edinebilmek amacıyla, aynada 5 bölgede (G), 3 adet büyük blokta (B) ve 2 adetde küçük parçada (T) 5'er adet Schmidt çekiç deneyi yapılmıştır (Şekil 5 ve Tablo 1).

Schmidt Çekici Analiz Değerleri



Şekil 5. İlica Yöresi Bazalt Ocağında Schmidt Çekici Deney Lokasyonları

SCHMİDT ÇEKİCİ ANALİZ SONUÇLARI

Okuma No	G1	G2	G3	G4	G5	B1	B2	B3	T1	T2
1	38	42	44	44	42	49	46	44	45	49
2	36	40	42	42	40	47	46	44	44	49
3	34	39	38	42	38	47	45	44	44	48
4	32	36	36	41	36	47	44	42	44	40
5	29	34	36	38	34	47	44	40	44	40
Ortalama	33,8	38,2	41,4	41,4	38	47,4	45	42,8	44,2	45,2

Tablo 1. Kütahya İlica Bölgesi Bazalt Ocağında Yapılan Schmidt Çekici Analiz Sonuçları.

Tablo 1'e göre aynada elde edilen sertlik değerlerinin (G1-G5) blok parça (B1-B3) ve küçük parça (T1,T2) değerlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni süreksizliklerden kaynaklanmaktadır. Fakat bunun yanında mineralojik çalışmalar ve ocak aynası (Şekil 5) gözlemlerine göre kayaç içerisinde daha yumuşak ve kolay dağılılabilen zonlarda bulunmaktadır.

Bu özellikteki balast için istenmeyen zayıf zonların ocakta belirlenerek ayıklanması gerekmektedir.

5 KIRMA ELEME TESİSİ

Ocakta üretilen malzemenin tamamı şirkete ait kırma-eleme tesislerinde boyutlandırılmaktadır. Kırma-Elleme Tesisinde bir adet çeneli kırıcı (110'luk), bir adet darbeli kırıcı ve bir adete dik milli kırıcı (DMK) olmak üzere 3 adet kırıcı, biri tek katlı, ikisi de üç katlı 3 adet de elek bulunmaktadır.

Kamyonlarla kırma-eleme tesisine gelen ve bunkere boşaltılan malzeme, çeneli kırıcıya beslenmektedir. Çeneli kırıcıda kırılan malzeme eleğe gelmektedir ve elek altı malzeme (0-7 mm) stok sahasına alınırken, elek üstü malzeme üç katlı eleğe beslenmektedir. Elek üstü iri malzeme primer darbeli kırıcıda (PDK) kırılırken (kapalı devre), elek altı malzemeler 0-14 mm (mıcır), 14-30 mm (mıcır) ve 30-60 mm (balast) boyutlarında sınıflanarak alınır (Şekil 6).

Ayrıca ocakta kırma-eleme tesislerinden elde edilen -30 mm ince malzemeyi kübikleştirip daha küçük boyutlara indirgeyerek uygun granulometrede ürün elde etmek için bir dik milli kırıcı (DMK) ve üç katlı elek bulunmaktadır. Kırıcıda kırılan malzeme 0-3 mm (toz), 3-7 mm (mıcır) ve 7-15 mm (mıcır) boyut gruplarında malzemeler elde edilmektedir (Şekil 7).

Tesise ait üretim değerleri;

Yılda çalışacak ay sayısı: 12 ay

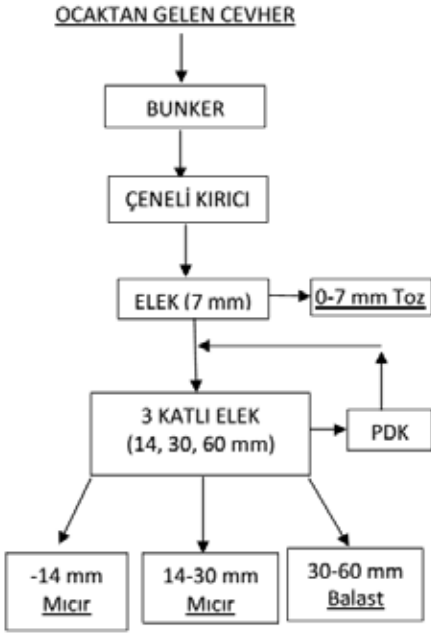
Yılda çalışacak gün sayısı: 300 gün/yıl
(Hafta sonu tatilleri, bayram tatilleri hava koşullarından kaynaklı çalışılmayan günlerin ortalaması alınmıştır).

Günde Çalışılacak saat: 8 saat/gün tek vardiya.

Yıllık üretim miktarı: 380 000 ton/yıl

Günlük üretim miktarı: 1266 ton/gün

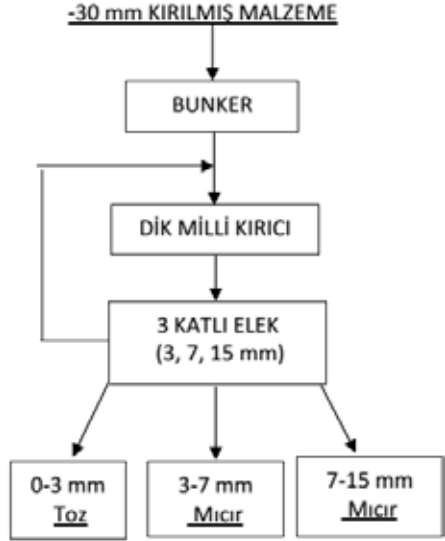
Saatlik üretim miktarı: 158.33 ton/saat



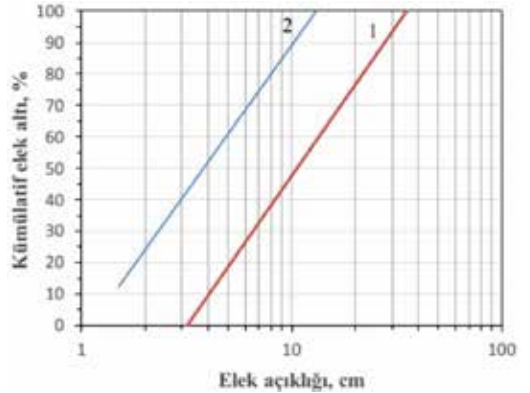
Şekil 6. Bazalt kırma-eleme tesisi

Ayrıca ocak sahasından ve kırıcı çıkışlarından alınan numuneler ile elek analizleri de yapılmıştır. Ocak çıkışı (1) ve çeneli kırıcı çıkışı (2) numuneler ile yapılan elek analiz sonuçları Şekil 8’de verilmiştir. Elek analiz sonuçları tesisten elde edilen tane boyut dağılımları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Tesisteki tek sorun kırılan malzemenin çok sert (6.5 civarında) olmasından dolayı özellikle PDK daki astar aşınmasının fazla olmasıdır.



Şekil 7. Gökkuşağı Madencilik Kırmataş Tesisi Akım Şeması



Şekil 8. Ilıca bölgesi ocaktan alınan bazalt numunelerinin (1) ve kırıcı çıkışı (2) elek analizi.

6 SONUÇLAR

Kütahya'nın ılıca bölgesinde bulunan bazalt üzerinde yapılan kaya mekaniksel ve petrografik deneyler neticesinde bu kayaların kırmataş madenciliğinde öneminin ne kadar büyük olduğunu ortaya çıkarmıştır. Daha önceki araştırmaların

neticesinde bazaltların demiryollarında balast malzemesi olarak kullanılabilirliğini belirlemek için laboratuvar deney sonuçları TS EN 13450 (2013) standardındaki sınır değerleri ile karşılaştırılmış ve bazaltların tüm özelliklerinin balast malzemesi olmaya uygun olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmalara göre, Ocaktan elde edilen malzemenin tane boyutunun kullanılan kırıcı ağız açıklığı ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bazalt ocağında bulunan tesiste tüm kırma eleme işlemleri yerinde gerçekleşmektedir. Ocakta kırma-eleme tesislerinden elde edilen -30 mm ince malzemeyi kübikleştirip daha küçük boyutlara indirgeyerek uygun granulometrede ürün elde etmek için bir dik milli kırıcı (DMK) ve üç katlı elek bulunmaktadır. Bu ocağın yıllık üretim miktarı 380 000 ton/yıl, günlük üretim miktarı: 1266 ton/gün ve saatlik üretim miktarı ise 158.33 ton/saat olmaktadır.

Yapılan petrografik incelemelere göre, kayacın esas olarak çoğunlukla plajiyoklas mikrolitleri ve volkanik camdan oluşan hamur içinde özşekilli ve yarı özşekilli olivin ve ojit fenokristallerinden meydana geldiği, ikincil mineraller olarakda kalsit ve klorit içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca kayaçta iddingsitleşmenin de olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Mikroskopik çalışmalar sonucu ortaya çıkarılan iddingsitleşme nedeniyle ocakta yapılan gözlemlere göre malzeme içerisinde çok zayıf ve dağılılabilen malzeme bulunduğu tespit edilmiştir. Buna göre bu kayaçtan elde edilen kırma taş malzemesinin ballast olarak kullanılması durumunda bu malzemenin ocakta ayıklanarak işletilmemesi gerekmektedir.

Ayrıca, ocakta yerinde yapılan scmidt çekici deneylerinden alınan sonuçlara göre bu kayaçların sertlikleri 33.8 ile 47.4 arasında değişmektedir. Kayaç sert yapıya sahip olduğu için özellikle şoklu kırıcıdaki aşınma çok fazla olmaktadır.

Numunenin alındığı bazalt ocağında bulunan tesiste tüm kırma eleme işlemleri yerinde gerçekleşmektedir. Ocakta kırma-eleme tesislerinden elde edilen -30 mm ince malzemeyi kübikleştirip daha küçük boyutlara indirgeyerek uygun granulometrede ürün elde etmek için bir dik milli kırıcı (DMK) ve üç katlı elek bulunmaktadır. Bu ocağın yıllık üretim miktarı 380 000 ton/yıl, günlük üretim miktarı: 1266 ton/gün ve saatlik üretim miktarı ise 158.33 ton/saat olmaktadır.

Bazaltların kırmataş madenciliğindeki önemi her geçen gün artacaktır ve gelişen teknolojik şartların etkisiyle sektördeki yerini üst sıralara çıkarmaya devam edecektir.

KAYNAKLAR

- Akat, U., Çağlayan, A. ve İvak, M., 1978, Dursunbey-Orhaneli-Susurluk-Kepsut arasındaki sahannin jeolojisi; Maden Tetkik ve Arama Enst. Derl. Rap, 6618, 38 s.
- Akdeniz, N., Konak, N. 1979. "Simav-Emet-Tavşanlı-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi", M.T.A. Raporu, No: 654.
- Alemdağ S. , Gürocak Z. , Kaya A. , "Usability of Late Cretaceous Aged Basalts (Macka-Trabzon) as Crushed Stone", 7. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Mart 2015 İstanbul, Sayfa 285-291.
- Aral İ.F., Akyıldız A., "Mechanical and Physical Properties of Concrete Produced from Karatepe Basalts" 7. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Mart 2015 İstanbul, Sayfa 323-328.
- Arık, F., Temur, S. 2003. "Köprüören-Gümüşköy-Yoncalı civarının stratigrafisi", Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18/1, 21-36.
- Baş, H., 1983, Domaniç – Tavşanlı – Kütahya – Gediz Yöresinin Tersiyer jeolojisi ve volkanitlerin petrolojisi; Maden Tetkik ve Arama Enst. Derl. Rap, 7293, 72 s.
- Demirbilek, M., "İlica-Sobran (Kütahya) Arasının Jeolojisi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2005.
- Dündar, A., Güngör, N., Gürsel, T., Özden, M., Özyegin, E. 1986. "Kütahya-Emet Bölgesi Bor Tuzu Yatağı Nihai Değerlendirme Raporu", M.T.A. Derleme Raporu, 7984, 156.
- Ercins S., Duran Z., Atabey İ.İ., "Investigation of Usability of Basalt Quarry Materials as Concrete Sleeper Aggregate", 7. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Mart 2015 İstanbul, Sayfa 335-341.

- Ergül, E., Gözler, Z. ve Akçören, F., 1986, 1:100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Balıkesir F-6 paftası; Maden Tetkik ve Arama Enst. Jeol. Et. Dai., 11 s.
- Gün, H., Akdeniz, N., Günay, E. 1979. "Gediz ve Emet güneyi Neojen havzalarının jeolojisi ve yaş sorunları", Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 8, 3-13.
- Gün, H., Bingöl, E., Akdeniz, N., Günay, E. 1976. "Geologie des bassins tertiaires des regions nord-est du massif de Menderes", Bulletin de la Societe Geologique de France, 2, 451-458.
- Helvacı, C. 1986a. "Geochemistry and Origin of the Emet Borate Deposits Western Turkey", Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A., Yerbilimleri, 49-73, Sivas.
- Helvacı, C. 1986b. "Stratigraphic and Structural Evolution of the Emet Borate Deposits, Western Anatolia", Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering and Architecture, Research Papers, MM/JEO-86 AR 008, 28.
- Keskin M. Ö., Kılıç A. M., "Doğu Akdeniz Yöresi Bazaltlarının Kırmataş Olarak Değerlendirilme Olanakları" , 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Agregası (Beton, Asfalt), Çimento Hammaddeleri Madencilik Aralık 2003 İstanbul, Sayfa 151-157.
- Korkanç M., Tuğrul A., "Niğde Yöresi Bazaltlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği", 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Agregası (Beton, Asfalt), Çimento Hammaddeleri Madencilik Aralık 2003 İstanbul, Sayfa 99-106.
- Korkanç M., Tuğrul A., "Niğde Yöresi Bazaltlarının Agregası Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi" , 4.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Aralık 2006 İstanbul, Sayfa 93-100.
- Loveday C., "Avrupa Agregası Standartları", 5. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Agregası (Beton, Asfalt), Çimento Hammaddeleri Madencilik Aralık 2009 İstanbul, Sayfa 19-25.
- Okay, A. İ., 1981, Kuzeybatı Anadolu'daki ofiyolitlerin jeolojisi ve mavişist metamorfizması (Tavşanlı-Kütahya), TMMOB Jeoloji Müh. Odası; Türkiye Jeol. Kur. Bült., 24, 85 – 95.
- Okay, A.I. and Yüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In "The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen" (eds. B. Durand, L. Jolivet, F. Horváth ve M. Séranne), Geological Society of London, Special Publication, 156, 475-515.
- Okay, A.I., 2011. Tavşanlı Zonu: Anatolid-Torid Bloku'nun Dalma-Batmaya Uğramış Kuzey Ucu, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 142. Özel sayı (Menderes Masifi), s.195-226.
- Özkul, C., "Kütahya Çevresindeki (Batı Anadolu) Miyosen Volkanitlerinin Petrokimyası, K-Ar Jeokronolojisi Sr-Nd-Pb-O İzotop Jeokimyası ve Jeodinamik Gelişimi, Tübitak, Proje No: 113Y069, Yayınlanmamış.
- Uz B., Bacak G., "Mahmatlı (Gölbaşı-Ankara) Bazaltlarının Jeolojik Özellikleri ve Endüstriyel Kullanılabilirliği", 5. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Agregası (Beton, Asfalt), Çimento Hammaddeleri Madencilik Aralık 2009 İstanbul, Sayfa 359-364.
- Uz B., "Bazaltların Kırmataş Yönünden Değerlendirilmesi (Trakya-Tekirdağ Bölgesi)", 2.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Haziran 1999 İstanbul, Sayfa 1-12.
- Ürünveren A., Yapıcı N. , Ural S. , "Availability of The Kars Region Pliocene Basalts as an Aggregate", 7. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Mart 2015 İstanbul, Sayfa 329-334.
- Üstün, H. 2008. "Hisarcık-Emet (Kütahya) Güneyinin Neojen Stratigrafisi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Vıcalı, M., 1982, Gümüşköy (Kütahya) Aktepe Pb – Zn – Sb – Ag cevherleşmesi; Ege Üniv. Yerb. Fak. Dok. Tezi, 258 s.
- Yalçın, H. 1984. "Emet Neojen görsel baseninin jeolojik ve mineralojik-petrografik incelenmesi", Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Beytepe, Ankara, 269.
- Yükünç, M. 2007. "İğdeköy, Hisarcık, Hamanköy ve Dereköy (Emet) köylerini içeren bölgenin jeolojisi, mineralojisi ve jeolojik evrimi", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 65.

Arama, Planlama ve Fizibilite
(Alternative Raw Material Sources)

Avrupa Agrega Üretiminde Verimlilik Gelişimi

Development of the Productivity in European Aggregate Production

Y. Kasap

Dumlupınar University, Mining Engineering Department, Kütahya

Ş. Kırış

Dumlupınar University, Industrial Engineering Department, Kütahya

ÖZET

Agrega sektörü, istihdam potansiyeli ve başta inşaat olmak üzere diğer sektörlerle olan yoğun girdi-çıkıtı ilişkisi sebebiyle ülke ekonomilerinin vazgeçilemez sektörlerinden birisi durumundadır. Bu çalışma kapsamında Avrupa’da agrega üretimi yapan ülkelerin 2012-2014 yılları arasındaki verimlilik gelişimleri incelenmiştir. Analizlerde birden fazla ve farklı ölçü birimlerine sahip parametreleri aynı anda değerlendirebilme ve karar verme birimlerinin zaman içindeki gelişimlerini inceleyebilme imkânı sunan Malmquist toplam faktör verimlilik indeksinden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda değerlendirmeye alınan ülkeler arasında en büyük gelişmenin Letonya ve Türkiye’de gerçekleştiği tespit edilmiştir.

ABSTRACT

Aggregate industry is one of the indispensable sectors of country economies due to the employment potential and the intense input-output relations with other sectors, especially with the construction sector. In this study, the productivity growth of the countries producing aggregates in Europe over the years 2012 to 2014 is investigated. Data were analyzed using the MPI (Malmquist Productivity Index), which can evaluate the multiple and different unit parameters simultaneously and examine the improvement of the decision making units over time. According to the results, the greatest development was obtained in Latvia and Turkey among the evaluated countries.

1 INTRODUCTION

Having an important place in human life, the mining sector is one of the factors that have played a key role in developed countries’ current level of prosperity. Together with agriculture in particular, mining is one of the two main production areas that provide the raw material needs of society. The economic strength of developed countries that use natural resources efficiently is especially based on this situation.

The mining sector possesses a special importance because of its direct contribution to the economy and the inputs it provides to other areas of the economy. Having the highest capacity for creating added value and employment, the mining industry prevents migration to the city and accelerates regional development as it is usually conducted in close proximity to rural areas. Therefore, the sector needs to be given a special importance in designing both economic and social development policies. If appropriate plans and policies are followed, mining sector will make an important

contribution to economic indicators such as employment and manufacturing industry and it will be a driving force for a country's manufacturing sector. Despite the high consumption and the amount of raw materials of many goods used in daily life to be purchased from mining, the importance of the sector is not sufficiently recognized. As a result of the failure to produce the raw materials / inputs provided by mining directly to many sectors, the country will be faced with additional imports and unemployment of thousands of people working in this sector, and consequently the national economy will be faced with loss (Ernst&Young, 2011; Kulaksız, 2012).

Due to its employment potential and intense input-output relationships with other sectors, particularly with the construction sector, the aggregates industry is one of the indispensable sectors of Turkey's economy. Aggregates and other aggregate-derived construction products such as cement are a part of daily life. In parallel with the increasing population and rapid urbanization the need for aggregates and their derivatives is increasing. Water, consumed most per person in the world, is followed by aggregates. Aggregates are defined as a combination of crushed rock or sand and gravel that are classified according to size after extraction from quarries and that are used in many manufacturing industries, especially in the construction industry, such as paint, paper, fodder and fertilizers. Aggregates can be produced in quarries, but they can also be obtained from the sea in some countries. Recycled aggregates can be produced by reprocessing previously used in construction materials including construction and demolition residues. Manufactured aggregates are obtained through industrial processes on blasts, electric furnace slags or china clay residues. Demand for aggregates is met by stone crushing (46%), sand and gravel (41%), recycling (8%), and sea and manufacturing (5%) (UEPG, 2015; Anonymous, 2016a)

European aggregates production (39 countries) is 3766 million tonnes/year. Total production is carried out by 16824

companies and 28099 quarries. According to 2014 data from the European Aggregates Association production in Europe is 5 tonnes per capita per year while this figure in Turkey is about 6 tonnes. The aggregates sector has a significant position among the non-energy extractive industries. Aggregate mining has a very important place in the development of the economy and quality of life in Turkey. Turkey ranks as the third biggest aggregates producers in Europe with an annual production capacity of 477 million tonnes. Employing approximately 25000 people, the aggregates sector has an important place in the mining industry (UEPG, 2015; Anonymous, 2016a).

The aim of this study is to examine the efficiency changes of countries in Europe that produce aggregates by using the Malmquist total factor productivity index (MPI), which is based on Data Envelopment Analysis (DEA).

2 METHOD USED IN THE STUDY

The need for a single criterion in weighting the different ratios calculated in efficiency measurements to be conducted in cases of multiple sets of input-output led to the emergence of data envelopment analysis approach. DEA was first developed by Charnes, Cooper and Rhodes (1978) in order to measure the relative efficiency of economic decision making units that are similar to each other in terms of the goods or services they produce.

The first step in nonparametric approach to measurement of efficiency, which is used for comparative efficiency analysis, is to determine enveloped surfaces (efficient frontier) that cover the linear combinations and efficient observations of the decision making units (DMUs) which carry out the same production activities. Then the efficiency scores and radial distances (from the center) of inefficient units within the enveloped surface are calculated (Muniz, 2002; Aydagün, 2003; Kasap, 2008).

The most important advantage to this method is that the sources of inefficiency can be analyzed and quantified for every

evaluated unit. With this feature, the method guides decision makers on how much to reduce their inputs and / or how much to increase their outputs so that inefficient units can become efficient.

In order to calculate the Technical Efficiency (TE) for k^{th} DMU (the decision making unit evaluated), the following linear programming model is used.

$$\max \theta_k \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot Y_{rj} - s_{rj}^- = \theta_k \cdot Y_{rk}; \quad r = 1, 2, \dots, s \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot X_{ij} + s_{ij}^+ = X_{ik}; \quad i = 1, 2, \dots, m \tag{3}$$

$$\lambda_j, s_{ij}^+, s_{rj}^- \geq 0 \quad \forall i, r, j \tag{4}$$

In the model that is established for efficiency measurement to be performed under output maximization, the aim is to keep inputs constant but outputs at a maximum level (Eq.1).

The constraints where maximization is sought for the outputs in inefficient DMUs are shown in the equation (2). With this constraint, r^{th} output of each j DMU will not be greater than the maximum linear combination of the units constituting the efficient frontier. Constraint (Eq. 3) sets involve comparison of the inputs kept constant in non-parametric linear programming carried out under output maximization. It will be possible to measure i^{th} input of each j DMU with a level of input lower than the one formed with weighted linear combination of the i^{th} input used by all of the units.

In order for a DMU to be considered efficient,

- optimal θ_k has to be equal to 1, and
- all slack variable scores have to be zero ($s_{ik}^+, s_{rk}^- = 0$).

The symbols used in the formulation of non-parametric linear programming are defined below:

- n the number of decision-making units involved in comparison (European countries),
- s the number of outputs gained from the production,
- m the number of inputs used in the production,
- $j = (1, 2, \dots, n)$ set of all decision-making units,
- $k = (1, 2, \dots, n)$ set of decision-making units evaluated,
- $r = (1, 2, \dots, s)$ set of all outputs,
- $i = (1, 2, \dots, m)$ set of all inputs,
- $y \in \mathbb{R}^+_s$ vector of outputs (y_1, y_2, \dots, y_s) = $s \times n$
- $x \in \mathbb{R}^+_m$ vector of inputs (x_1, x_2, \dots, x_m) = $m \times n$
- λ the vector of density variables giving inputs-outputs weight averages = $k \times 1$
- λ_{jk} the relative (compared to other units, j) weight value of “ k ” decision unit measured for efficiency in input-oriented,
- θ_k the scaler variable (efficiency score) trying to decrease all inputs of k DMU, which is considered to obtain the best frontier,
- Y_{rj} the r^{th} output amount produced by decision unit j ,
- Y_{rk} the r^{th} output amount produced by decision unit k ,
- X_{ij} the i^{th} input amount used by decision unit j ,
- X_{ik} the i^{th} input amount used by decision unit k ,
- t the year evaluated,
- $t+1$ the next year evaluated.

As a form of static analysis, Data Envelopment Analysis performs analyses using data from decision making units in a single period. However, a decision making unit that was identified to be efficient before may lose its efficiency and reference quality. In this respect, in efficiency evaluation process, the MPI was developed to examine the changes that may occur over time.

The MPI, which was obtained by adding the functions of distance to the Farrell

(1957) measure of technical efficiency, measures the variation in two units' total factor productivities as the proportion of the distances from a common technology. Distance function is used to define multi-input and multi-output production technologies without specifying objectives such as cost minimization or profit maximization. The input distance function considers a production technology by looking at a minimal proportional contraction of input vector, given an output vector, while the output distance function characterizes it a maximal proportional expansion of the output vector, given an input vector. This study used the output distance function because it was suitable for the analysis which was conducted to investigate the efficiency changes of the decision making units in the years evaluated. (Tarim, 2001; Cingi and Tarim, 2000; Coelli et al, 1998).

Grifell-Tatje and Lovell (1995) showed that using the assumption of variable returns to scale when calculating the distance functions required for MPI would not accurately measure the changes (gain or loss of productivity) in Total Factor Productivity (TFP) index. For this reason, the index needs to be calculated under the assumption of constant returns to scale.

The output distance function is

$$D_i^t(x, y) = \min \left\{ \theta : \left(x, \frac{y}{\theta} \right) \in L(x) \right\} \quad (5)$$

If y vector is an element of the possible production set of $L(x)$ efficient frontier, the distance function $D_o(x, y)$ will have a value smaller than or equal to one. According to the output between t period and the subsequent $(t+1)$ period and within the framework of distance function, MPI is calculated as

$$MPI = \sqrt{\frac{D_i^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_i^t(y^t, x^t)} \times \frac{D_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_i^{t+1}(y^t, x^t)}} \quad (6)$$

where $D^t(x^{t+1}, y^{t+1})$ represents the distance of t period to $t+1$ period technology. An MPI value greater than 1 indicates that there is an expansion of total factor productivity from t period to $t+1$ period while an MPI value smaller than 1 shows a contraction in total factor productivity

The MPI evaluates changes in productivity according to two separate components: technical efficiency change and technological change. Technical efficiency (TE) change provides an assessment of the process in which decision-making units approach the efficient frontier whereas technological change (TC) provides the change of the efficient frontier over time. The aim of this study is to determine the productivity changes of the European aggregates producer countries over the years evaluated.

When Equation 6 is revised:

$$MPI = \underbrace{\frac{D_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_i^t(y^t, x^t)}}_{\text{Technical Efficiency}} \times \underbrace{\sqrt{\frac{D_i^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})} \times \frac{D_i^t(y^t, x^t)}{D_i^{t+1}(y^t, x^t)}}}_{\text{Technological Change}} \quad (7)$$

where the ratio outside the square root measures the change in the output-oriented measure of Farrell technical efficiency between periods t and $t+1$. In other words, the efficiency change is equivalent to the ratio of the technical efficiency in period $t+1$ to the technical efficiency in period t . The remaining part of the index in Equation (7) is a measure of technological change. It is the geometric mean of the shift in technology between the two periods, evaluated at x^{t+1} and also at x^t .

$$MPI = TE \times TD.$$

Non-parametric linear programming method is the most popular method that is used to estimate the distance functions that are required to form MPI. When there is a suitable panel data set, the required distances can be calculated by using non-parametric linear programs by means of this method.

Four distance functions must be calculated to measure the changes TFP between the two periods for any i^{th} firm and this requires the solution of four Linear Programming (LP) problems. The LPs required under the assumption of constant returns to scale (Table 1).

Table 1. The distance functions

$$\begin{aligned}
 [D_i^{t+1}(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})]^{-1} &= \max \theta_k \\
 &\sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^{t+1} \cdot y_{rj}^{t+1} \geq y_{rk}^{t+1} \cdot \theta_k \\
 &\sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^{t+1} \cdot x_{ij}^{t+1} \leq x_{ij}^{t+1} \\
 &\lambda_{jk}^{t+1} \geq 0
 \end{aligned}$$

(8)

$$\begin{aligned}
 [D_i^t(x_j^t, y_j^t)]^{-1} &= \max \theta_k \\
 &\sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^t \cdot y_{rj}^t \geq y_{rk}^t \cdot \theta_k \\
 &\sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^t \cdot x_{ij}^t \leq x_{ij}^t \\
 &\lambda_{jk}^t \geq 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [D_i^{t+1}(x_j^t, y_j^t)]^{-1} &= \max \theta_k \\
 &\sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^{t+1} \cdot y_{rj}^{t+1} \geq y_{rk}^t \cdot \theta_k \\
 &\sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^{t+1} \cdot x_{ij}^{t+1} \leq x_{ij}^t \\
 &\lambda_{jk}^{t+1} \geq 0
 \end{aligned}$$

(9)

$$\begin{aligned}
 [D_i^t(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})]^{-1} &= \max \theta_k \\
 &\sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^t \cdot y_{rj}^t \geq y_{rk}^{t+1} \cdot \theta_k \\
 &\sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^t \cdot x_{ij}^t \leq x_{ij}^{t+1} \\
 &\lambda_{jk}^t \geq 0
 \end{aligned}$$

Determining these defined distance values by using Equations (8) and (9) for all time periods and firms requires the solution of $n(3t-2)$, where n represents the number DMUs and t shows the number of periods, linear programming models (Tarım, 2001;

Fare, Grosskopf and Lovell, 1994). Since there were 33 European countries and 3 years (as periods of time) in this study, a total of 231 linear programming models were solved so that the analyses could be carried out.

3 APPLICATION

This study examined the efficiency changes of the European countries that produced aggregates over the years 2012 to 2014. 33 European countries produce aggregates were evaluated in order to access accurate data in the input-output sets within the three years. Because a large part of the demand for aggregates was met with crushed rock and sand-gravel, they were evaluated as outputs. The total amount of production was also evaluated as output as it reflected other manufacturing ways. The amount of aggregates production per capita was evaluated as output because it reflected production quantities based on country populations and the amount of demand that may arise. Exports and imports were evaluated as output and input respectively since they could represent their impact on national economies. In addition, the amount of countries' reserves could be evaluated as input but there is a variety of rocks that are used as raw materials for aggregates and there is no regular data this subject. Then, the total number of quarries of the countries was evaluated as input (Table 2).

Input data for some parameters used in the analysis:

- n Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherland, Norway, Poland, Portugal, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, UK,
- s Sand gravel production, Crushed rock production, Total production, Imports, Aggregate Amount Per Capita,
- m Total Number of Extraction Sites, Export
- k = (1,2, ...,33)
- j = (1,2, ...,33)
- r = (1, 2, 3, 4, 5)

i = (1,2)

DEAP 2.1 software package designed by Coelli (1996) was used to examine the efficiency changes of the countries engaged in the production of aggregates in Europe.

Table 2 The data evaluated in this study

2012	Max	Min	Average
Sand gravel production (million tonnes)	245	0	36.15
Crushed rock production (million tonnes)	390	0	50.24
Total production (million tonnes)	564	1	95.45
Imports (tonnes)	25160776	0	3012806
Aggregate Amount Per Capita (tonnes)	16.37	0.99	5.84
Total Number of Extraction Sites	3145	10	798
Export (tonnes)	23457644	4102	3169825
2013	Max	Min	Average
Sand gravel production (million tonnes)	228	0	33.58
Crushed rock production (million tonnes)	390	0	48.76
Total production (million tonnes)	546	2	92.67
Imports (tonnes)	21825199	0	3086532
Aggregate Amount Per Capita (tonnes)	15.72	1.98	5.93
Total Number of Extraction Sites	3034	10	778
Export (tonnes)	22724647	1432	2934820
2014	Max	Min	Average
Sand gravel production (million tonnes)	240	0	33.91
Crushed rock production (million tonnes)	430	0	50.79
Total production (million tonnes)	564	2	95.24
Imports (tonnes)	22579753	0	3189090
Aggregate Amount Per Capita (tonnes)	15.72	1.95	6.12
Total Number of Extraction Sites	2960	10	798

Export (tonnes) 24404781 1716 3045039

The results obtained are given in Table 3 and Figure 1. When Malmquist total factor productivity index components are evaluated, a decrease of approximately 2% according to the average MPI (1-0.980 = 0.02) can be observed.

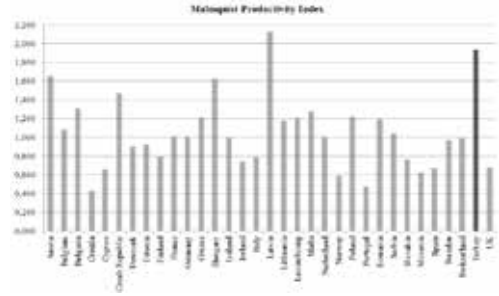


Figure 1 Malmquist Productivity Index

An increase was obtained in the efficiency changes of Austria, Belgium, Bulgaria, Czech Republic, France, Germany, Greece, Hungary, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Poland, Romania, Serbia and Turkey because their MPI values were greater than 1.000. The Technical Efficiency scores of these countries equal to or greater than 1.000, which implies that they were able to produce outputs in quantities in line with their capacities. On the other hand, when the Technological Changes of these countries were analyzed, we found that the scores received by the Czech Republic, Germany, Hungary, Lithuania, Romania and Serbia were less than 1.000. The scores of Technological Change below 1.000 indicate that the input-output components in these countries' production processes changed in a negative way. However, we could assume that those scores would not have a negative impact on the MPI because they were very close to 1.000 (e.g. 0.998).

Among the countries evaluated, the biggest development was realized in Latvia with a MPI score of 2128, followed by Turkey with a MPI score of 1937. According to data from 2013, Latvia ranked 28th in Europe in terms of production capacity, while Turkey ranked 3rd with its high

production capacity after Russia and Germany.

Although Latvia has a low capacity of aggregates production, it showed a considerable growth between 2009 and 2010. In that period, a total of 300,000 m³ increase was observed in 21 dolomite quarry production. In terms of the years evaluated in the analyses, it can be seen that while the production volume was 2 million tonnes in 2012, the amount of production reached around 14 million tonnes in 2013 and 2014. Since 2009, new investments have been made in Latvia taking into consideration the materials demand of the construction industry. Moreover, the fact that Latvia has an ideal location in terms of logistics, it offers low production costs and skilled work force has contributed to the development of the aggregates sector (Anonymous, 2016b).

Slovenia	0.739	0.844	0.624
Spain	0.608	1.107	0.673
Sweden	1.004	0.965	0.969
Switzerland	0.966	1.026	0.991
Turkey	1.000	1.937	1.937
UK	0.628	1.076	0.676
Average	0.997	0.983	0.980

The construction sector in Turkey, and aggregates production therefore, was accelerated by the following: urban transformation due to earthquake risks, constant expansion of road network across the country, the increasing need for housing, schools and other urban facilities caused by the high population growth rate, migrants from neighboring countries, and mega-projects (e.g. the third bridge and the third airport in Istanbul and Izmit bay crossing projects).

Especially the third airport project in Istanbul required by far the largest excavation, filling and ground improvement work in Turkey. This project will also include sea fillings. In addition to the cavities formed by coal pits and ground shifts, the loose soil structure of the project area will lead to work in a wide area.

The future growth rate of the industry, which is expected to grow dramatically due to the mega projects, cannot be estimated exactly. However, it is estimated that the sector will need millions of tons of raw materials. Therefore, there will very probably be a need for opening new quarries and pits, and entrepreneurs in this area will be offered serious opportunities (Aydın, 2013; Anonymous, 2016c).

In line with this result, the increases in evaluated output units in recent years and decrease in imports promoted an environment for productivity growth.

Croatia and Portugal had lowest MPI values by 0.429 and 0.478, respectively. The fact that the technological change scores of Croatia and Portugal were close to 1.000 (0.962 and 0.966, respectively), it is clear that the problem in these countries was caused by technical inefficiency. No efficiency growth was observed in these countries in the evaluated years because,

Table 3 Malmquist productivity index components

	TE	TD	MPI
Austria	1.468	1.126	1.653
Belgium	1.000	1.078	1.078
Bulgaria	1.303	1.003	1.306
Croatia	0.446	0.962	0.429
Cyprus	0.752	0.880	0.662
Czech Republic	1.471	0.998	1.468
Denmark	0.992	0.910	0.902
Estonia	1.208	0.762	0.921
Finland	0.997	0.804	0.802
France	1.007	1.003	1.010
Germany	1.036	0.974	1.009
Greece	1.175	1.031	1.211
Hungary	1.734	0.937	1.625
Iceland	1.249	0.800	0.999
Ireland	0.851	0.870	0.740
Italy	0.813	0.974	0.793
Latvia	2.103	1.012	2.128
Lithuania	1.215	0.966	1.175
Luxembourg	1.000	1.211	1.211
Malta	1.197	1.067	1.277
Netherland	1.000	1.007	1.007
Norway	0.767	0.771	0.592
Poland	1.166	1.050	1.224
Portugal	0.495	0.966	0.478
Romania	1.196	0.999	1.194
Serbia	1.125	0.926	1.041
Slovakia	0.868	0.873	0.758

apparently, they were unable to produce what they could have done with their resources.

4 CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In the modern world, the need for products to be obtained from the Earth's crust is rapidly increasing in parallel with the growing population and rapid urbanization. Considering the fact that the only thing constantly used in human life since ancient times is rock, aggregates emerge as a critical resource to grow the economy, to increase prosperity in a country and for modern life. This study examined the efficiency changes of the European countries that produced aggregates over the years 2012 to 2014. And it used the Malmquist Productivity Index, which can evaluate multiple and different unit parameters simultaneously and examine the productivity changes of decision making units over time.

The results showed that the overall productivity growth of the evaluated countries decreased by 2%. Nevertheless, Latvia and Turkey have achieved a large-scale productivity growth. This result could be attributed to the demand increase in the construction industry over the recent years. As a matter of fact, materials used in concrete production such as sand, gravel and crushed rock are important components that occupy around 60-75% of concrete.

In Turkey, urban transformation due to earthquake risks, constant expansion of road network across the country, the increasing need for housing, schools and other urban facilities caused by the high population growth rate, migrants from neighboring countries, and mega-projects (e.g. the third bridge and the third airport in Istanbul and Izmit bay crossing projects) accelerated the construction sector and, therefore, aggregates production. There will probably be a need for opening new quarries and pits to meet the recently increasing need for aggregates. It is essential to launch campaigns to promote investments needed for the growth of the sector.

REFERENCES

- Anonymous, 2016a, <http://www.ustaoglu.com.tr/cevre>
- Anonymous, 2016b, <http://www.aggbusiness.com/sections/market-reports/features/northern-europe-growth-baltic-states-relatively-strong>
- Anonymous, 2016c, <http://www.haberortak.com/Haber/Agir-Sanayi-Cozumleri/05042016/Agregada-avrupadan-ondeyiz.php>
- Aydağın, A., 2003, Veri Zarflama Analizi, *T.C. Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü Yıl Sonu Semineri*.
- Aydın, O., 2013, Kentsel Dönüşüm ve Mega Projelerin Madencilik Sektörüne Etkileri, *Madencilik Türkiye Dergisi*.
- Charnes, A., Cooper, W., Rhodes, E., 1978, Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, 2, 6, 429 – 444.
- Cingi S., Tarım, A., 2000, Türk Banka Sisteminde Performans Ölçümü DEA-Malmquist TFP Endeksi Uygulaması, *Türkiye Bankalar Birliği Araştırma Tebliği* S.: Sayı:2000-01.
- Coelli, T. J. 1996, A Guide to DEAP Version 2.1: *A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. Center for Efficiency and Productivity Analysis (CEPA) Working Paper 96/08*, University of New England
- Ernst&Young, 2011, Dünyada ve Türkiye'de Madencilik Sektörü.
- Fare, R., Grosskopf S. and Lovell, C.A.K., 1994, *Production Functions*, Cambridge University
- Farrel, M. J., 1957, The Measurement of Productivity Efficiency, *Journal of The Royal Statistical Society*, 120:253-290.
- Grifell-Tatje, E. and Lovell, C. A. K., 1995, A Note On The Malmquist Productivity Index. *Economics Letters*, 47:169–175.
- Kasap, Y., 2008, Türkiye Kömür Madencilğinde Etkinlik ve Verimlilik Gelişimi: Veri Zarflama Analizi, *Doktora Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Nisan.
- Kulaksız, S. 2012, Madencilikte Çevre Yönetimi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Afyon. (http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/c9e69f5ac607d69_ek.pdf?tipi=2&turu=H&sube=0)
- Muniz, M.A., 2002, Separating Managerial Inefficiency and External Conditions in Data Envelopment Analysis, *European Journal of Operational Research*, 143, 625-643.
- Tarım, A., 2001, Veri Zarflama Analizi: Matematiksel Programlama Tabanlı Görelî Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı, *Sayıştay Yayın İşleri Müdürlüğü, Çeviri Dizisi 15*, Ankara, Şubat
- UEPG, 2015 (Union Européenne des Producteurs de Granulats=European Aggregates Association) Annual Review, 2014-2015, A Sustainable Industry for a Sustainable Europe.

İş Sağlığı ve Güvenliği
(Alternative Raw Material Sources)

Kırmataş Tesislerinde Çalışanların Maruz Kaldığı Fiziksel Risk Etmenleri

Physical Risk Factors for Employees of the Aggregate Crushing Plants

A. E. Arıtan

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

C. Şensöğüt, Ö. Ören

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

M. Tümer

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

ÖZET Kırmataş sektörü, ülkemizde önde gelen madencilik faaliyetleri içerisinde yer almaktadır. Sektör gün geçtikçe büyümekte ve üretim hızı da artmaktadır. Bu hız içerisinde, kullanılan makine ve ekipmanlar da artış göstermektedir. Bu artışla beraber çalışanların sağlığını tehdit eden faktörlerde artmaktadır. Özellikle fiziksel risk etmenleri ülkemizde son yıllarda iş sağlığı ve güvenliği duyarlılığının artış göstermesi ile birlikte daha çok araştırılması gereken konulardan birisi olarak önümüze çıkmaktadır.

Bu çalışmada; kırmataş tesislerinde çalışanların sağlıklarını tehdit eden fiziksel risk etmenlerinden (gürültü, titreşim, termal konfor, toz) bahsedilmiştir. Yine termal konfor başlıklarından olan, aydınlatma, basınç ve radyasyona ise bu çalışmada değinilmemiştir.

ABSTRACT Crushed stone sector takes place among the leading mining activities in Turkey. The production rate is increasing day by day in parallel with the growth in the industry. This rate also reflects an increase in the utilization of machinery and equipment. However, the increase in concern causes a growth in the factors threatening the health of occupants. Physical risk factors, especially as one of the issues to be investigated more with the increase of the health and safety awareness in Turkey recently has emerged ahead of sensitivity.

In the present study, crushed stone plants that threaten the health of employees due to the physical risk factors (noise, vibration, thermal comfort, dust) are mentioned. However, lighting, radiation and pressure which are also parts of physical risk factors are not discussed in this study.

1 TANIMLAR

1.1 Kırmataş

Agrega; tabii ve yapay her iki cins yoğun mineral malzemenin, genellikle 100 mm' ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerinin bir yığıdır. En çok kullanılan agrega türleri, kum ve çakıldır. Agregaları ince ve iri agrega olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Çakıl doğal iri agregadır. Bazı hallerde iri agrega

olarak çakıl yerine doğal taş blokların konkasör denilen aletlerle parçalanması sonunda elde edilen kırmataş da kullanılır. O halde kırmataş yapay iri agregadır (Şimşek, 2003).

1.2 Fiziksel Risk Etmenleri

İş sağlığı ve güvenliği açısından bakıldığında risk etmenleri; fiziksel, biyolojik, kimyasal, psikososyal risk etmenleri olarak ayrılmaktadır.

Çalışılan ortamın fiziksel özellikleri çalışanların sağlığını etkiler. Özellikle maden gibi ağır işlerde çalışan işçilerin bu bakımdan büyük risk altındadırlar. Her çalışma ortamının fiziksel özellikleri farklıdır.

Fiziksel risk etmenleri konusu, madencilik her alanında ayrı ayrı incelenmesi gereken en önemli risk kategorilerindedir. Genelde; gürültü, titreşim, termal konfor, toz, aydınlatma, basınç ve radyasyon bu başlık altında incelenmektedir.

Kırmataş sektörüne bakıldığında özellikle; gürültü, titreşim, termal konfor ve toz risklerinin daha çok öne çıktığı görülmektedir.

2 GÜRÜLTÜ

Herhangi bir maddenin titreşmesi sonucu meydana gelen titreşimin hava, sıvı veya gaz ortamda yayılması ile ortaya çıkan enerji dalgasına ses denir. Sinüzoidal yayılım gösteren ses dalgasının atmosfer basıncında yaptığı değişiklikler genlik olarak adlandırılmakta; ses kaynağının birim zamanda çevreye yayılan enerjiye de sesin gücü denilmekte ve Watt ile ölçülmektedir (Bell, 1996).

Sesin niteliğini frekans ve şiddet olmak üzere iki özelliği belirlemektedir. Bir saniyedeki titreşim sayısına frekans; ses dalgasının içerdiği enerjinin birim alandaki enerjiye oranına ise, şiddet denilmektedir. Sesin şiddet birimi desibel'dir ve (dB) şeklinde gösterilir (Akbulut, 1996).

Gürültü genel olarak, "istenilmeyen ve rahatsız edici sesler" olarak tanımlanır. Bu genel tanımlama, gürültüyü daha çok, konfor hissini azaltan bir olay olarak değerlendirilmektedir. İşçi sağlığında ise gürültünün tanımı biraz değişiktir: 1977 yılında yayınlanan ILO 148 sayılı gürültü ve titreşim hakkında sözleşme kararında; "gürültü, işitme duyusunun azalmasına veya sağlığın bozulmasına veya başka tehlikelerin meydana gelmesine neden olan seslerdir." Böylece, endüstride gürültü yalnız konforu azaltmakla kalmaz, işçinin sağlığını ve

güvenliğini olumsuz olarak etkiler (Akbulut, 1996).

Kırmataş tesislerinde, kırıcılar, yükleyiciler, elekler vb. gürültü düzeyi yüksek ekipmanlardır.

2.1 Gürültünün Sağlığa Etkileri

Gürültü insan sağlığı için bir risk oluşturmasının yanında, insanın hareketlerini zorlaştırması, ciddi bir gerginlik ve rahatsızlık yaratması nedenleriyle, daha çok öznel yönü vurgulanarak kısaca istenmeyen ses olarak tanımlanmaktadır. Ancak istenmeme; gürültünün akustik özelliklerinin yanı sıra kişilerin sağlık durumları, sosyoekonomik durumu, yaşam biçimi, gürültü kaynaklarına ekonomik bağımlılığı, gürültü yapıcılara karşı tutum ve davranışı gibi çeşitli etmenlere göre değişmektedir. (Velicangil, 1970). Gürültünün etkileri 4 başlıkta incelenmektedir:

Fiziksel etkiler: Geçici, sürekli veya ani (birden) işitme kaybı.

Bedensel etkiler: Vücut etkinliklerindeki değişiklikler; kan basıncı artışı, dolaşım bozuklukları, takipne, taşikardi, ani refleksler.

Psikolojik etkiler: Davranış bozuklukları, öfkenleme, sıkılma, genel rahatsızlık duygusu.

Performans etkileri: İş veriminin düşmesi, konsantrasyon bozukluğu, hareketlerin engellenmesi (Velicangil, 1970).

2.2 Gürültü İle İlgili Kanuni Zorunluluklar

2013 yılında Resmi Gazete'de yayınlanan "Çalışanların Gürültü İle İlgili Risklerden Korunmaları Dair Yönetmelik"; çalışanların gürültüye maruz kalmaları sonucu oluşabilecek sağlık ve güvenlik risklerinden, özellikle işitme ile ilgili risklerden korunmalarını amaçlamaktadır.

Bu yönetmelik ile en yüksek ses basıncı (P_{tepe}), Günlük gürültü maruziyet düzeyi ($L_{EX, 8saat}$) [dB(A) re. 20 μ Pa] ve Haftalık gürültü maruziyet düzeyi ($L_{EX, 8saat}$) tanımlanmıştır. Maruziyet ve eylem değerleri de;

- En düşük maruziyet eylem değerleri: ($L_{EX, 8\text{saat}} = 80 \text{ dB(A)}$) veya ($P_{\text{tepe}} = 112 \text{ Pa}$ [135 dB(C) re. 20 μPa](20 μPa referans alındığında 135 dB (C) olarak hesaplanan değer).

- En yüksek maruziyet eylem değerleri: ($L_{EX, 8\text{saat}} = 85 \text{ dB(A)}$) veya ($P_{\text{tepe}} = 140 \text{ Pa}$ [137 dB(C) re. 20 μPa].

- Maruziyet sınır değerleri: ($L_{EX, 8\text{saat}} = 87 \text{ dB(A)}$) veya ($P_{\text{tepe}} = 200 \text{ Pa}$ [140 dB(C) re. 20 μPa] olarak belirlenmiştir.

Ayrıca; “Yeterli ölçümle tespit edilen haftalık gürültü maruziyet düzeyi, 87 dB(A) maruziyet sınır değerini aşamaz” hükmü de yönetmelikte yer almaktadır.

3 TOZ

Toz, çapları 1 mikrondan büyük olup, havada asılı olarak bulunan katı parçacıklardır. Çapları 1 mikrondan küçük olanlar, aerosol adını alırlar. Etkeni toz olan akciğer hastalıkları, pnömokonyoz adı altında toplanmaktadır. Bu hastalıklar, insanlık tarihinde ilk olarak belirlenen meslek hastalıklarıdır. Pnömokonyoz çalışma ortamındaki havada bulunan tozların akciğere girip birikmesi ve zehirli etki yapması sonucu oluşan hastalıklardır. Teknoloji ilerledikçe, tozların kontrol usulleri gelişmiş ve bunun sonucunda, pnömokonyozlar bazı bölgelerde ileri derece de azalmış, bazı bölgelerde de önemini korumaya devam etmiştir (Akbulut, 1996).

3.1 Sağlık Etkileri

Tozların en büyük etkisi solunum yolu üzerinedir. Her solumada, havada asılı olan tozlar, burun ve ağızdan girerek hava yollarından geçer ve akciğerlere varır. Tozların 5 mikrondan büyük olanları, burunda ve üst solunum yollarında tutulur, balgam ve öksürükle dışarı atılır. Tozların çapları ufaldıkça, akciğerlerde alveollere kadar gidenler çoğalır. Çapları 1-2 mikron civarında olanlar hemen hemen hiç tutulmazlar, bu nedenle sağlık yönünden önemli sorunlara neden olurlar. 1 mikrondan küçük olanlar ise ufak ve hafif oluşları nedeni ile akciğer havasında asılı kalır ve

soluk verme ile tekrar dışarı çıkarlar. Akciğerlere giren tozlar, fiziksel ve kimyasal yapılarına göre çeşitli hastalıklar yaparlar. Çapları 5 mikrondan büyük olanlarda (her ne kadar alveollere kadar giremezlerse de) zararsız değildirler. Üst solunum yollarını tahriş ederler. Nitekim bronşit, tozlu çevrede en sık görülen bir hastalıktır (Akbulut, 1996).

Çapları 5 mikrondan küçük olanlar: bazıları kimyasal yapıları nedeni ile genel, bazıları da akciğerlere yerleşip lokal hastalık yaparlar. Tozların kimyasal yapısında bulunan kurşun, arsenik, manganez solunum yollarından kana geçer, bir süre birikmeye devam eder ve kandaki konsantrasyon belli bir düzeye gelince, zehirlenme ortaya çıkar. Berilyum, vanadyum, manganez, kadmiyum, kobalt kimyasal akut pnömoni sebebi olabilirler (Akbulut, 1996).

Madencilikğin meslek hastalığı olan silikozis de tozdan oluşan hastalıklardandır.

3.2 Toz İle İlgili Kanuni Zorunluluklar

Resmi Gazete’de 2013 yılında yayınlanan “Tozla Mücadele Yönetmeliği”nin amacı; şyerlerinde tozdan kaynaklı ortaya çıkabilecek risklerin önlenmesi amacıyla iş sağlığı ve güvenliği yönünden tozla mücadele etmek ve bu işlerde çalışanların tozun etkilerinden korunmalarını sağlamak için alınması gerekli tedbirlere dair usul ve esasları belirlemektir.

Bu yönetmelik; İşverenin yükümlüklerini, risk değerlendirmesini, tozla mücadele komisyonunun kurulmasını, toz ölçümlerinin yapılmasını hükme bağlamıştır. Ayrıca yönetmelikte; sağlık gözetimi, pnömokonyozdan korunma ve pnömokonyoz tanısı ile ilgili işlemler, eğitim ve tozla mücadele birimlerinin kurulması ile ilgili hükümler yer almaktadır.

4 TİTREŞİM

Titreşim, bir cisim bir denge konumu etrafında tekrarlı olarak salınım yaptığında meydana gelir (Zeyrek, 2009). Titreşim frekans (Hz) ve büyüklüğü (m/sn^2) olmak üzere iki parametre ile ifade edilir.

Titreşim insan titreşimi yani insanı etkileyen titreşim ve makine titreşimi olarak ikiye ayrılır. İnsan vücudundaki etkilerini araştırmada yol gösterici olması bakımından da yönetmeliğe göre ikiye ayrılmıştır; el-kol ve tüm vücut titreşimi.

4.1 Sağlık Etkileri

Özellikle el bileklerinde ve ellerde meydana gelmektedir. Vibrasyona maruz kalan işçilerde vasküler bozulmaya bağlı olarak “beyaz parmak”, raynaud’s fenomeni, karpal tunel sendromu, periferik nöropati ve kas zayıflığı gibi etkiler görülebilir. Titreşim sendromlarında vasküler bozulmayı, nörolojik bozukluklar izler. Hastalığın erken devresinde ellerde uyuşukluk ve parastezi görülür. Hastalık ilerledikçe bu şikâyetler, uykuda rahatsız etmeye başlar ve daha sonra, kalıcı sensomotor kayıp ile birlikte kavrama kuvvetinde ve manipulatif beceride kayıp oluşur (Beyhan, 2004).

Titreşimin etkileri el-kol ve tüm vücut etkileri olarak ikiye ayrılır. El-kol etkileri; pnömatik çekiç veya pnömatik matkap kullanan kişilerde (asfalt ve beton deliciler, maden cevheri delme ve dökme işçileri) görülür. Bütün vücut etkileri ise daha çok iş makineleri kullanan kişilerde, vasküler bozukluklara bağlı olarak görülür. Özellikle titreşimli eleklerin üzerinde çalışanlarda görülmesi muhtemeldir. Ayrıca dozer, kamyon, ekskavator vs operatörlerinde de görülme ihtimali yüksektir.

Titreşim sendromu ile ilgili tanı ve değerlendirme yöntemleri subjektiftir. Bu tür ciddi sorunlara yol açması nedeni ile gerekli önlemleri almak son derece önemlidir (Beyhan, 2004).

4.2 Titreşim İle İlgili Kanuni Zorunluluklar

22 Ağustos 2013 tarihinde Resmi Gazetede yayımlanan “Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik”; çalışanların mekanik titreşime maruz kalmaları sonucu oluşabilecek sağlık ve güvenlik risklerinden

korunmalarını sağlamak için asgari gereklilikleri belirlemeyi amaçlamaktadır.

Yönetmelik, çalışanların maruz kaldığı titreşimi ikiye ayırmıştır;

- Bütün vücut titreşimi: Vücudun tümüne aktarıldığında, çalışanın sağlık ve güvenliği için risk oluşturan, özellikle de bel bölgesinde rahatsızlık ve omurgada travmaya yol açan mekanik titreşim,

- El-kol titreşimi: İnsanda el-kol sistemine aktarıldığında, çalışanın sağlık ve güvenliği için risk oluşturan ve özellikle de damar, kemik, eklem, sinir ve kas bozukluklarına yol açan mekanik titreşim, diye tanımlanmıştır.

Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet değerleri aşağıda çizelgede verilen rakamlarla sınırlandırılmıştır.

Çizelge 1. Maruziyet Değerleri

Türü	Sınır değeri (m/sn ²)	Eylem değeri (m/sn ²)
El-Kol	5	2,5
Tüm Vücut	1,15	0,5

5 TERMAL KONFOR

Termal konfor, kişinin bulunduğu ortam ile etkileşiminden duyduğu memnuniyet veya memnuniyetsizliktir. Bu memnuniyet; hava hızı, nem, radyant ısı, havanın sıcaklığı gibi çevresel faktörler ve metabolik hız ve giysi yalıtımı gibi kişisel faktörlere bağlıdır.

Çalışılan ortamda termal konfor şartları yetersiz ise rahatsızlık duyulmaya başlanır ve özellikle çalışma ortamında sıkıntı ve rahatsızlık hali, çalışanlarda kapasite kaybına ve verimin düşmesine sebep olur (İmancı, 2014).

5.1 Sağlık Etkileri

Yüksek sıcaklıkta çalışmak insan sağlığına zararlıdır. Isı çarpması başta olmak üzere, kalp krizine dahi yol açabilmektedir. İnsan vücudunun sıcaklığı 40,6 °C’ye ulaştığında, kalp krizi riski ciddi miktarda artmaktadır. Hava sıcaklığının yanı sıra hissedilen sıcaklığı artıran nemin, azaltan hava

akımının miktarı, çalışan işçinin fiziki durumu, yaşı, yaptığı iş için harcadığı kalori, seçtiği kıyafet sıcak koşullarda çalışanların maruz kaldığı riski belirleyen etmenlerden bazılarıdır (Yıldırım ve Altınsoy, 2015).

Kırmetaş tesislerinde-arazide ve kapalı ortamlarında sıcaklık, hava hızı, nem ve radyant ısının kontrol altında tutulması gerekir. İnsan sağlığını tehdit edecek düzeylere gelmesi engellenmelidir. Özellikle ortam sıcaklığının artışı, arazide-tesiste kontrol altına almak zordur. Bunun için sıcaklığa maruz kalan kişide önlemler almak esastır. Giyimi, güneş altında kalma süresi vb. tüm etkenler göz önüne alınmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır.

Kapalı ortamlarda (ofis vb.) ABD ASHRAE standartlarına göre ideal şartlar için sıcaklığın 20-25,5°C, nemin ise %30-60 arasında olması gerekmektedir.

Verimli ve sağlıklı bir işyeri ortamında ideal hava akımı 150 mm/sn civarında olmalıdır. Bu akım 510 mm/sn düzeyine çıktığında ortam “esintili”, 100 mm/sn düzeyine düştüğünde ise ortam “havasız” olarak nitelendirilir (Ulucan ve Zeyrek, 2012).

5.2 Termal Konfor İle İlgili Kanuni Zorunluluklar

“İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik” yönetmeliğinde termal konfor 9 ayrı maddede anılmıştır. 5. maddenin e fıkrasında işveren; “İşyeri bina ve eklentilerinde yeterli aydınlatma, havalandırma ve termal konfor şartlarını sağlar” denilmektedir. Bununla beraber ölçülmesi değerlendirilmesi kısmı ise 19. madde de; “İşyerlerinde termal konfor şartlarının çalışanları rahatsız etmeyecek, çalışanların fiziksel ve psikolojik durumlarını olumsuz etkilemeyecek şekilde olması esastır. Çalışılan ortamın sıcaklığının çalışma şekline ve çalışanların harcadıkları güce uygun olması sağlanır. Dinlenme, bekleme, soyunma yerleri, duş ve tuvaletler, yemekhaneler, kantinler ve ilk yardım odaları kullanım amaçlarına göre yeterli sıcaklıkta bulundurulur. Isıtma ve soğutma amacıyla kullanılan araçlar, çalışanı rahatsız

etmeyecek ve kaza riski oluşturmayacak şekilde yerleştirilir, bakım ve kontrolleri yapılır. İşyerlerinde termal konfor şartlarının ölçülmesi ve değerlendirilmesinde TS EN 27243 standardından yararlanılabilir” cümlesi ile hükme bağlanmıştır.

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Kırmetaş-agrega sektörü ülkemizde özellikle inşaat sektörünün hızına bağlı olarak her geçen gün kapasitesini artırmaktadır. Kapasite artışı ile birlikte çalışanların riskleri de artmaktadır. Risk değerlendirmeleri yapılırken genelde göz ardı edilen fiziksel risk etmenlerinden titreşim ve termal konfor şartlarına daha çok önem verilmelidir. Açık ve kapalı ortamlarda çalışılan sektörde, maden sahasındaki çalışmalarda, kırıcı-öğütücü tesislerinde ya da ofis ortamlarında tüm risk değerlendirmelerinin eksiksiz yapılması ve çalışanların kanun ve yönetmeliklerde belirtilen yeterli çalışma şartlarına haiz ortamlara kavuşturulmaları gerekmektedir.

Gürültü konusu da, dikkatle incelenmesi gereken bir risktir. Sektörün kullandığı birçok donanımın gürültü problemi bulunmaktadır. Korunma malzemeleri iyi tespit edilmeli ve çalışanların kullandıklarından emin olunmalıdır.

Toz konusunda ise, özellikle SiO₂ oranı yüksek cevherlerle çalışan işletmelerde bu konu ile ilgili kullanılacak tüm kişisel koruyucu donanımların CE standardına uygun ve mineralin özelliğine göre seçilmesi gerekmektedir.

İş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinde çalışanlarla birlikte işletme sahiplerinin de bu konularla ilgili bilinçlendirilmesi sağlanmalıdır. Ölçümlerin bir angarya değil, hem işçi sağlığı hem de iş verimi açısından önemine vurgu yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akbulut, T., 1996, *İşçi Sağlığı Prensipleri ve Uygulamaları*, 5. Baskı, Sistem Yayıncılık, İstanbul, 12-46 s.
- Bell, A., 1966, *Noise: An Occupational Hazard And Public Nuisance*, World Health Organization, Geneva, 61-62 s.

- Beyhan, Y. (Ed: Akbulut,), 2004, *Çalışma Hayatı-Sağlık Riskleri ve Beslenme*, İşyeri Hekimliği Ders Notları, 8. Basım, TTB Yayınları, Ankara, 21-22 s.
- İmancı, C., 2014, *Döküm Atölyelerinde Termal Konfor Şartlarının İncelenmesi*, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Ankara, 22-35 s.
- Şimşek, O., 2003, *Yapı Malzemeleri I*, 2.basım, Beta Basım A.Ş, İstanbul, 211 s.
- Ulucan, H. F. ve Zeyrek, S., 2012, *Ofislerde İş Sağlığı ve Güvenliği*, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Yayınları, Ankara, 6-7 s.
- Velicangil, S., 1970, *Endüstri Sağlığı ve Meslek Hastalıkları*, Dizerkonca Matbaası, İstanbul, 95-102 s.
- Yıldırım, H. A. ve Altınsoy, H., 2015, TS EN ISO 7730 ve TS EN ISO 27243 Standartlarına Göre Termal Konfor Programı, *Çalışma Dünyası Dergisi (Labour World)*, s. 7-17.
- Zeyrek, S., 2009, *Titreşim*, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Ankara, 2-3 s.

Türkiye Mermer Ocaklarında Risk Değerlendirmesi ve Uygulama Örnekleri

Risk Assessment of Marble Quarries in Turkey and Case Studies

İ. Çınar

Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya

C. Şensöğüt

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Türkiye, mermer rezervi ve kalitesi bakımından dünya mermer potansiyeli içerisinde önemli bir yere sahiptir. Mermer ocak işletmeciliği ülkemizde yoğun insan gücüne dayanarak yapılmaktadır ve mermer ocakları genellikle küçük ölçeklidir. Bu nedenle iş sağlığı ve güvenliği önlemleri çok fazla önemsenmeyerek kontrol altında tutulmamaktadır. Mermer ocaklarının iş sağlığı ve güvenliği açısından daha güvenilir bir hale getirilebilmesi için kazalar olmadan önce risk analizi yapılması gerekmektedir. İş kazaları sonucu meydana gelebilecek ölüm, yaralanma ve maddi hasar gibi unsurları ortadan kaldırmak için yapılması gerekli en temel unsurlardan birisi risk analizidir.

Bu çalışmada ülkemizde faaliyet gösteren mermer işletmeleri için mevcut tehlikeler belirlenmiştir. Mermer işletmelerinde belirlenen bu tehlikeler için risk skorları hesaplanmış ve hesaplanan risk skorları yardımıyla riskli işletme ile risk kaynakları tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek risk oluşturan kaynakların ortadan kaldırılabilmesi veya risklerin en küçüklenbilmesi için alınması gerekli olan önlemler belirlenmiştir.

ABSTRACT Turkey as a country has a significant place in the world for marble potential with regard to marble reserves and their quality. Quarrying of marbles in Turkey is mostly realized through intense man power with small scaled operations. Therefore, the preventions related to the occupational health and safety are not usually paid necessary attention and kept under control. In order to establish more reliable working conditions in the marble quarries on account of health and safety at work, it is necessary to carry out risk analysis before the accidents occur. Risk analysis is one of the most essential constituents to be accomplished to clear away the deceases, injuries and material damages caused as results of job oriented accidents.

In the present work, existing hazards for the marble quarries currently operating in Turkey were determined. For these hazards, risk scores were calculated and by the assistance of these scores, risk sources and risky quarries were defined. In addition, measures necessarily to be taken for combating against the highly risky sources and reducing the risks to a minimum level were ascertained.

1 GİRİŞ

Son yıllarda doğal taş sektöründe ihracatta büyük bir gelişim kaydeden ülkemizde, mermer ocak işletmeciliği ve mermer üretim fabrikaları ön sıralarda yer almaktadır. Madencilik faaliyetlerinin çoğunun insan gücüne dayanarak yapıldığı bu alanların iş sağlığı ve güvenliği açısından daha güvenli hale getirilebilmesi için kazalar olmadan risk analizi yapmak, gerek çalışan sağlığı gerekse işveren açısından büyük önem arz etmektedir.

Sektörde yaklaşık 800 ocak, 1500 fabrika ve 7000 civarında atölye ile 200.000 kişiye iş imkanı sağlandığı düşünülürse, iş sağlığı ve güvenliğinin önemi sektör açısından ön plana çıkmaktadır. Güney Doğu Anadolu Bölgesi, Ege Bölgesinden sonra doğal taş rezervi açısından Türkiye'nin en büyük rezervi ile ikinci sırayı alırken, yaklaşık olarak 6000 kişiye iş imkânı sağlamaktadır (Ağca, 2010).

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO, 2016; Şensöğüt, 2016) verilerine göre, dünyada her yıl 322 milyon iş kazası meydana gelirken, her 15 saniyede bir işçi ve her gün yaklaşık 5 bin 730 kişi iş kazası veya meslek hastalıkları nedeniyle yaşamını kaybetmekte ve 160 milyon kişi ise meslek hastalıklarına yakalanmaktadır. Aynı kayıtlara göre meydana gelen iş kazalarının toplam maliyeti, bir ülkenin yıllık gayri safi milli gelirinin yaklaşık % 4'üne karşılık gelmektedir. ILO verilerine göre ülkemizde ise 2010 yılında 62 bin 903 iş kazası ve 533 meslek hastalığı vakası saptanırken, 10'u meslek hastalığı ve 1444'ü iş kazası sonucu olmak üzere toplam 1454 çalışan yaşamını yitirmiştir.

Eurostat verilerine göre her yıl iş kazaları dolayısıyla, Avrupa Birliği'ne üye ülkelerde, 5.720 kişi hayatını kaybetmektedir (Eurostat, 2010). Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) kayıtlarına göre uygun olmayan bir sağlık kültürünün yaşama geçirilmesinin bir ülkeye maliyeti, ülke milli gelirinin %10-20'sine

karşılık gelebilmektedir (Amponsah-Tawiah et al., 2011).

Türkiye'de 2014 yılında 221.366 adet iş kazası bildirimi yapılmış, bunlardan 1626 adedi ölümle, 1421 adedi ise sürekli iş göremezlik ile (vücutta %10 un üzerinde işlev kaybı) sonuçlanmıştır. İş kazası sayılarında 2012 ile 2013 yılları arasında yaklaşık 2,5 kat artış gözlenmektedir. 2012 ve öncesi yıllarda iş kazası geçiren sigortalı sayılarına ait istatistikler verilirken ödemesi yapıp kapatılan iş kazası vaka sayısı esas alınmaktaydı. 2013 yılından itibaren iş kazası bildirim formunun elektronik ortamda alınmaya başlanması ile iş kazası geçiren tüm sigortalı sayılarına ait veriler Avrupa Birliği standartları (ESAW) dikkate alınarak verilmeye başlanmıştır. 2013 yılında 191.389 olan iş kazası bildirimi sayısı yaklaşık %15 artışla 2014 yılında 221.366'ya yükselmiştir. Yıllara göre iş kazaları değerlendirmeleri Şekil 1 ve Çizelge 1'de gösterilmiştir (SGK, 2014).



Şekil 1. Yıllara göre iş kazaları

Bu artışın nedeni işyerlerinde görev yapan İş Güvenliği Uzmanlarının yarattığı farkındalık ile bildirimlerin artması olarak açıklanabilir. 2014 yılında Soma'da meydana gelen elim iş kazası 301 maden işçimizin yaşamını yitirmesine sebep olmuştur. Bu vahim iş kazası gerçekleşmemiş olsaydı eğer, Şekil 1'de görülen iş kazası ölüm hızınının 10.0 değerlerine düşeceği öngörülmektedir.

Çizelge 7. Beyyazı agregalarının yassılık endeksi değeri

Yıllar	İş Kazası	Sakatlık	Ölüm
2004	83.830	1.421	841
2005	73.923	1.374	1.072
2006	79.027	1.953	1.592
2007	80.602	1.550	1.043
2008	72.963	1.452	865
2009	64.316	1.668	1.171
2010	62.903	1.976	1.444
2011	69.227	2.093	1.700
2012	74.871	2.036	744
2013	191.386	1660	1360
2014	221.326	1421	1626

Bu çalışma ortamlarında üretim süreçlerini geliştirme ve yöntemlerinin araştırılması konularını irdelemeden, öncelikli yapılması gereken risk analizi çalışmalarıdır. Risk analizi çalışmaları ışığı altında üretim süreçleri belirlenerek doğabilecek riskler önceden bertaraf edilmelidir.

2 RİSK ANALİZİ VE RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

2.1 Risk Analizi

Olası iş kazaları risklerine yol açabilecek tehlikeli davranışların ve tehlikeli durumların, yapılan işin ve işyeri koşullarının incelenerek gerçekleşme olasılıklarının tahmini ve önceliklerinin sınırlanmasının bir çizelgede gösterilmesine “risk analizi” denilmektedir (Öztaş, 2007).

Temel risk analizi yöntemleri iki kısımda ele alınmakta olup kantitatif ve kalitatif yöntemler olarak adlandırılmaktadır.

Kantitatif risk analizinde risk hesaplanırken sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Kantitatif risk analizinde, tehdidin olma ihtimali ve tehdidin etkisi gibi tanımlara sayısal değerler verilmekte ve bu değerler matematiksel metotlar ile değerlendirilip risk skoru belirlenmektedir.

Diğer risk analizi yöntemi olan kalitatif risk analizinde ise riski hesaplanırken sayısal değerler yerine yüksek, çok yüksek gibi tanımlayıcı değerler kullanılmaktadır. “Risk = Tehdidin Olma İhtimali * Tehdidin Etkisi”

kalitatif risk analizi yönteminin temel formülü olarak özetlenmektedir (Özkılıç, 2005).

Risk analizi ile işletmenin veya tesisin hasar ve kaza potansiyeli belirlenmektedir. Hasar ve kaza potansiyelinin uygun koşullarla iyileştirilmesi yapılarak, can ve mal kaybı en aza indirilmekte, böylece firmanın verimliliği arttırılmaktadır.

Risk değerlendirmesinin amacı; mevcut risklerin neler olduğunun, nerelerden kaynaklandığının, kimleri etkilediğinin, kabul edilebilir olup olmadığı ve önleme faaliyetlerinin belirlenmesidir. Risk değerlendirmesi faaliyetleri işverene, tehlikelerin tanınması, risklerin önceden belirlenmesi, çalışanlar için güvenli ortam tesisi, kazaların önlenmesi ile kayıpların azaltılması, kalite ve verim artışı sağlanması, saygınlık, proaktif yaklaşım ve acil durumlara hazır olma, sorumlulukların belirlenmesi ve görev paylaşımı konularında faydalar sağlamaktadır (Yılmaz, 2009).

2.2 Risk Değerlendirme Yöntemleri

Risk analizi yapılırken kullanılan yöntemlerinin en bilinenleri aşağıda açıklanmıştır.

- 1- Başlangıç Tehlike Analizi (Preliminary Hazard Analysis - PHA)
- 2- İş Güvenlik Analizi (Job Safety Analysis - JSA)
- 3- Olursa Ne Olur? (What if..?)
- 4- Risk Değerlendirme Karar Matrisi (Risk Assessment Decision Matrix)
- 5- Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis - FMEA)
- 6- Tehlike ve İşletilebilme Çalışması (Hazard and Operability Studies - HAZOP)
- 7- Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis - FTA)
- 8- Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis - ETA)
- 9- Güvenlik Denetimi (Safety Audit)

10- Neden – Sonuç Analizi (Cause-
Consequence Analysis)
11-Çeklist Kullanılan Birincil Risk Analizi
Yöntemi (Preliminary Risk Analysis Using
Checklists - PRA)

Risk değerlendirme yöntemlerinin
karşılaştırılması Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2: Risk Değerlendirme Metodolojileri Karşılaştırma

Yöntem	Gerekli Doküman İhtiyacı	Takım Çalışması	Tecrübe Gereksinimi	Kalitatif/ Kantitatif	Özel Branşa Yönelik
PHA	Orta	Bir Analist İle Yapılabilir	Orta Düzey Deneyim	Kalitatif	Her sektöre uygun
JSA	Çok Fazla	Takım Çalışması Gerektirir	Çok Fazla Deneyim	Kalitatif	Her sektöre uygun
What if	Çok Az	Bir Analist İle Yapılabilir	Orta Düzey Deneyim	Kalitatif	Basit prosedürlü işler
L Tipi Matris	Çok Az	Bir Analist İle Yapılabilir	Orta Düzey Deneyim	Kalitatif	Basit prosedürlü işler
X Tipi Matris	Çok Fazla	Takım Çalışması Gerektirir	Çok Fazla Deneyim	Kalitatif	Her sektöre uygun
FMEA/FMECA	Çok Fazla	Takım Çalışması Gerektirir	Çok Fazla Deneyim	Kalitatif	Elektrik/Makine/ Hizmet
HAZOP	Çok Fazla	Takım Çalışması Gerektirir	Çok Fazla Deneyim	Kalitatif	Kimya endüstrisi
FTA	Çok Fazla	Takım Çalışması Gerektirir	Çok Fazla Deneyim	Kalitatif/ Kantitatif	Her sektöre uygun
ETA	Çok Fazla	Tim Çalışması Gerektirir	Çok Fazla Deneyim	Kalitatif/ Kantitatif	Her sektöre uygun
Güvenlik Denetimi	Çok Az	Bir Analist İle Yapılabilir	Orta Düzey Deneyim	Kalitatif	Her sektöre uygun
Neden-Sonuç Analizi	Çok Fazla	Takım Çalışması Gerektirir	Çok Fazla Deneyim	Kalitatif/ Kantitatif	Kimya endüstrisi
CheckList	Orta	Takım Çalışması Gerektirir	Orta Düzey Deneyim	Kalitatif	Her sektöre uygun

Bu metotları birbirinden ayıran en önemli fark, risk değerini bulmak için kullandıkları kendilerine has metotlardır. Çizelge 2’de kalitatif ve kantitatif yöntemlerin farkları, uygulanabilecekleri sektörler ve uygulayacak analistlerin tecrübe gereksinimleri belirtilmiştir.

Risk değerlendirilme çalışmalarından elde edilen belge ve bilgiler “Risk Değerlendirme Raporu” olarak düzenlenmelidir.

Risk değerlendirme raporu;

a) Yapılan faaliyetlerin sınıflandırılmasını,
b) Seçilen risk değerlendirme yöntem ve yöntemleri ile ilgili bilgileri,

c) Tespit edilen tehlikeleri,
d) Değerlendirilen riskleri,
e) Alınması gerekli önlemleri,
f) Risk değerlendirmesinin sonuçlarını,
g) Risk değerlendirme raporunun yeniden gözden geçirilmesi aralığını içermelidir.

3 MERMER OCAK İŞLETMELERİNDE KARŞILAŞILAN TEHLİKELER

Risk değerlendirme çalışmalarının yapıldığı, Konya İli Beyşehir İlçesinde çalışan mermer ocağının genel görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Mermer ocağı örneği

3.1 Tehlikeler ve Riskler

Mermer ocaklarında karşılaşılabilecek tehlikeli durumlar ve riskleri 4 başlık altında incelenmiştir.

3.1.1 Ocakta kullanılan araçlardan kaynaklanan riskler

- Kaldırma esnasında malzemenin alabora olması,
- Yük altında kalma,
- İş makinelerinin sorumlusu dışındaki kişiler tarafından kullanılması,
- İş makinelerinin yetersiz ve ehliyetsiz kişiler tarafından kullanılması,
- İş makinesi, araç ve gereçlerinin amaca aykırı ve tehlikeli kullanılması,
- Trafik kazası,
- Kayış kasnakları ve diğer hareketli aksamlara uzuv sıkışması,
- Hareketli aksama sahip makinelerde kopma, parçalanma veya darbe sonucu makine parçasının veya ortamda bulunan cismin savrulması.

3.1.2 Elektrik işlerinden kaynaklanan riskler

- Kullanılan donanımların elektrik motorlarının topraklanmış olmaması sonucu çarpılma ve yangın,
- Elektrik pano kapaklarının açık olması sonucu olabilecek muhtemel kazalar,

- Çıplak tel ve elektrik kaçağı sonucu çarpılma ve yangın,
- Trafo kapılarının kilitlerinin olmaması sonucu olabilecek kazalar,
- Açıkta ve yolu enlemesine geçen korunmasız kabloların yarattığı tehlikeler,
- Sorumlusu dışındaki kişilerin elektrik ile ilgili işleri yapması sonucu doğabilecek kazalar
- El aletleriyle yapılacak muhtemel elektrik kazaları (çarpılma, yangın)
- Elektrik kesilmeden teçhizat üzerinde onarım,
- Yetersiz yalıtım sonucu çarpılma ve yangın,
- Onarım esnasında şalter veya beklenmedik bir harekete karşı güç düğmesinin emniyete alınmamış olması,
- Tesis dâhilinde düğümlenmiş kablo, bozuk ve arızalı fiş-priz kullanımı, deforme olmuş kablo kullanımı.

3.1.3 Genel riskler

- Yüksekten ve boşluktan düşme,
- Asılı yük altında durma,
- Düşen malzemenin altında kalma,
- Elektrik çarpması,
- Hareketli makine aksamlarına uzuv kaptırma,
- Malzeme tarafından uzuv sıkışması, kesilmesi, çarpması, darbe alması
- El aletleriyle yaralanma,
- Verilen kişisel koruyucu malzemeyi kullanmama,
- Dağınık ve düzensiz iş ortamı,
- Metal, demir ve çivi batması,
- İşyerinde yetersiz uyarı ve ikaz levhası,
- İşe yeni başlayan işçiye göreviyle ilgili işbaşı ve uyum eğitimi verilmemesi,
- Belli aralıklarla işçilere iş sağlığı ve güvenliği konularında eğitim verilmemesi,
- Sağlık raporu ve periyodik muayene olmaması,
- Gıda işiyle uğraşan personelin portör

- muayenelerinin yapılmaması,
- Yangın,
- Deprem, fırtına, sel, kasırga gibi doğal afetler,
- Salgın hastalık,
- Terör,
- Gıda zehirlenmesi,
- İletişim kesilmesi.

3.1.4 Sosyal, psikolojik, ergonomik ve çevresel riskler

- Kaldırma ve taşıma kurallarına uymama sonucu ortopedik rahatsızlıklar,
- İşyerinde kaba şakalar yapmak, kavga etmek,
- Aşırı stres ve yorgunluk,

- Dağınık ve dikkatsiz çalışma,
- İşyeri kural ve talimatlarına uymama,
- Yetki, görev ve niteliğinin dışında iş yapmak,
- Koşuş ve yemekhanede hijyenik koşullar ve termal konfor,
- Paslı, kirli lavabo, duş ve tuvaletler.

4 RİSK DEĞERLENDİRMESİ









İşletmede L Tipi Matris Yöntemi ile risk değerlendirmesi yapılmıştır. Sadece sonuçların “YÜKSEK” çıktığı durumlar Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3 Risk Değerlendirme Formu

RİSK DEĞERLENDİRME FORMU					
Risk Öncelik Durumu: R<=1; "Önemsiz" ; R<=6;"Kabul Edilebilir"; R<=15; "Orta" ; R<=20; "Yüksek" ; R=25; "Acil"					
Risk Değerlendirme Kriterleri: İhtimal: 1-Yılda bir, 2- Üç Ayda bir, 3-Ayda bir, 4-Haftada bir, 5-Sürekli, her vardiyada Şiddet: 1-Hafif, 2-İlk yardımcı, 3-İstirahatlı, 4- Ciddi, 5-Çok Ciddi					
N o	Yer/ Makine	Tehlike	Kimler Etkilenebilir	Risk	Risk değeri (İhtimal x Şiddet)
1	Fabrika	Forklift geri vites sinyali çalışmıyor	Herkes	Tehlikenin fark edilememesi sonucu iş kazaları	4x4=16 (YÜKSEK)
2	Mutfak	Yangın söndürücünün olmaması	Herkes	Kolayca söndürülebilecek yangına geç müdahale	4x4=16 (YÜKSEK)
3	Fabrika	Havalandırma yetersiz	Herkes	Sürekli toza maruz kalma sonucu meslek hastalığı	4x4=16 (YÜKSEK)
4	Yükleme Sahası	Malzemelerin uygunsuz istiflenmesi	İlgili çalışanlar	İşçilerin üzerine düşmesi sonucu iş kazası	4x5=20 (YÜKSEK)
5	Yükleme Sahası	Uygun olmayan mapa bağlantısı	Herkes	Halatın mapadan kurtulup işçilerin üzerine düşmesi	4x5=20 (YÜKSEK)
6	Stok Sahası	Malzemelerin devrilecek şekilde istiflenmesi	Herkes	Yüksek ve düzensiz istiflenen malzemelerin işçilerin üzerine devrilmesi sonucu iş kazası	4x4=16 (YÜKSEK)
7	Yükleme Bölümü	Vinç altında çalışanların baret giymemesi	Herkes	Başa alacakları ağır darbe sonucu iş kazası	4x4=16 (YÜKSEK)
8	Fabrika	Elektrik pano kapağının açık durumda olması	Herkes	Elektrik akımına kapılma sonucu iş kazası	4x4=16 (YÜKSEK)

Bu değerlendirmelere göre yapılması gereken faaliyetlerin listesi Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Düzeltilecek faaliyetler

N o	Uygulanacak Önlemler, Sorumlu, Hedef Tarih	Mevcut Durum	N o	Uygulanacak Önlemler, Sorumlu, Hedef Tarih	Mevcut Durum
1	Forkliftin geri vites sinyalleri yaptırılmalı, İşveren, 7 gün		5	Mapa bağlantısı iyileştirilmeli, İşveren, Acil	
2	Mutfakta yangın söndürücü bulundurulmalı, İşveren, Acil			Malzemeler tehlike yaratmayacak şekilde istiflenmeli, İşveren, Acil	
3	İşletmeye uygun havalandırma yaptırılmalı, İşveren, 3 ay		7	Vinç altında çalışan işçiler baret giymeli, İşveren, Acil	
4	Malzemeler tehlike yaratmayacak şekilde istiflenmeli, İşveren, Acil		8	Elektrik pano kapakları daima kapalı durumda olmalı, İşveren, Acil	

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mermer işletmelerinde risk değerlendirmesi yapıldığında, bazı işletmelerde üretim faaliyetlerinin yüksek riskler içerdikleri görülebilmektedir.

Bu çalışmada, mermer işletmesinde risk analizleri yapılarak mermer işletmeleri için mevcut tehlikeler belirlenmiştir. Yüksek risk oluşturan tehlike kaynaklarının ortadan kaldırılabilmesi veya kabul edilebilir risk seviyesine indirilebilmesi için alınması gereken önlemler verilmiştir.

Mermer işletmelerinde kayma, takılma ve benzeri nedenlerle düşme riskinin yüksek

olduğu belirlenmiştir. Düşme riskini azaltmak için uyarı levhaları ve güvenlik işaretlerinin mutlaka uygun yerlere asılması, işletme sahası etrafının korkuluk veya tel örgü ile çevrilmesi gerekmektedir. Ocaktaki ayna yükseklikleri uygun hale getirilmeli, emniyet kemeri kullanılması ve blok devirme esnasında blok çevresinin boşaltılması gibi önlemler alınmalıdır. Küçük malzemelerin düşme riskine karşı işçilere kişisel koruyucu donanımlar mutlak suretle verilmelidir.

Tel kesme makinesi çalışırken etki alanında personel bulunmaması ve paravan kullanılması sağlanmalıdır. Ocak için uygun

yangın söndürme cihazları ve paratoner mutlaka alınmalıdır. İşçilere yangın söndürme tüplerinin kullanımı öğretilmelidir. Kompresörlerin periyodik bakımları mutlaka düzenli olarak yapılmalıdır.

Gürültü, titreşim, toz ve aydınlatma koşullarının yönetmeliklerde belirlenen seviyede olması sağlanmalıdır.

İş makinesi operatörlerine mutlaka ehliyet aldırılmalıdır. İş makinelerinin bakımları yapılmalı, kartlarına işlenmelidir.

Tüm çalışanlara iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili eğitimler verilmeli, işçilere temel ilk yardım sertifikası aldırılmalı, işçilerin sağlık kontrolleri yaptırılmalı ve her iş yerine ait acil eylem planları yapılmalıdır. Ayrıca en tehlikeli senaryoları da içeren hususlar için mutlaka tatbikatlar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ağca, E., 2010, Mermer Fabrikalarında İş Güvenliği Risk Analizi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Amponsah-Tawiah, K. & Dartey-Baah, K., 2011, Occupational Health and Safety: Key Issues and Concerns in Ghana”, Int. J. of Business and Social Science, 2(4), (119-126).
- Eurostat, 2010, Statistical Analysis of Socio-Economics Coasts of Accidents at Work in the European Union. Final Report.
- ILO, 2016., <http://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang--en/index.html>
- Özkılıç, Ö., 2005, İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, s246.
- Öztaş, S., 2007, Risklerin Analizi ve Değerlendirilmesine Farklı bir Bakış, Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, Adana.
- SGK, 2014, Sosyal Güvenlik Kurumu, 2004-2014 Yılları İş Kazaları İstatistikleri.
- Şensöğüt, C., 2016. The Role and the Importance of Universities in Establishing the Culture of Occupational Health and Safety, Int. Con. On Engineering and Natural Science, 24-28 May 2016, Sarajevo

Yılmaz, F., 2009. Avrupa Birliği ve Türkiye’de İş Sağlığı ve Güvenliği: Türkiye’de İş Sağlığı ve Güvenliği Kurullarının Etkinlik Düzeyinin Ölçülmesi, İstanbul Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul.

Kırmataş Sektöründe Titreşim Problemine Genel Bakış

Vibration Problem of Crushed Stone Industry: An Overview

A. E. Arıtan

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

C. Şensöğüt

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

M. Tümer

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

ÖZET Bu çalışmada kırma taş sektöründe kullanılan ekipmanlarda oluşan titreşim araştırılmıştır. Titreşim, ekipmanlarda arızalara ve parça yorulmalarına sebep olduğundan ekonomik ömürlerini kısaltmaktadır. Titreşimin ekipmanlara etki derecesini belirlemek amacıyla titreşim ölçümleri alınmasının gerekliliğinden bahsedilmiştir. Bu ölçümlere ait zaman aralıkları ve ölçüm yerleri araştırılmıştır. Ayrıca, ölçümlerin yapılmasında uyulması gereken kurallar ve ölçümlerde kullanılması gereken standartlar hakkında bilgi verilmiştir.

ABSTRACT In this study, vibration occurring in the equipment utilized in the stone industry was searched. Vibration results in shortened economic lives of equipment due to fatigue failure and malfunctions. The necessity to take vibration measurements was emphasized in order to determine the degree of influence of vibration on the equipment. The time intervals and the location of such tests and measurements were also investigated. Additionally, the rules and measures to be followed in making these measurements were given together with the information about the standards to be used.

1 AGREGALARIN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Amerikan standartlarından ASTM: agregayı, “Harç veya beton oluşturmak amacıyla bir bağlayıcı madde ile veya temel tabakaları, demiryolu balastlarında, vb. işlerde tek başına kullanılan kum, çakıl, deniz kabuğu, cüruf ya da kırma taş gibi mineral kompozisyonlu granüler (taneli) bir malzemedir” şeklinde tanımlamaktadır.

Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır;

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür gibi)
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,

- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri,
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir (Anonim 1, 2016).

1.1 Agreg Çeşitleri

Agrega (Kum-Çakıl): Doğal, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemesinin genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış ve/veya kırılmış tanelerinin bir yığıdır.

Aşağıda agreg çeşitleri ve özellikleri hakkında temel tanımlar verilmektedir:

Doğal agreg: Teraslardan, nehirlerden, denizlerden; göllerden ve taş ocaklarından elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadır.

Yapay Agregada: Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır (yapay taş veya yapay kum da denir).

İri Agregada: 4 mm açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.

Çakıl: Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

Kırma Taş: Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

Kum: Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregalardır.

Kırma Kum: Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Çakılın kırılması ile elde edilir.

Karışık Agregada: İnce ve iri agregada karışımıdır.

Doğal Karışık Agregada (Tüvenan Agregada): Agregada ocağından, kırıcıdan veya sanayiden doğrudan doğruya elde edilen karışık agregadır. Maksimum tane büyüklüğünden büyük taneleri ayırmak için elenmiş agregalara da doğal karışık agregada denir.

Hazır Karışık Agregada: İnce ve iri agreganın veya birkaç tane sınıfına ayrılmış bu agregaların belirli tane dağılımı (granülometri) sağlayacak şekilde beton yapımı sırasında yerinde birbirine karıştırılması ile meydana gelen agregadır (Çağlayan ve diğ., 1999).

2 KIRMATAŞ TEKNOLOJİSİ

Kırmataş üretimi 4 ana aşamada gerçekleşir. Bu üretim aşamasındaki maliyet oranlarının analizi, kırma ve eleme için ne denli önemli olduğunu göstermektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Taşocaklarında malzeme üretim aşamaları (Halili, 2003).

Üretim Aşamaları		Maliyet Oranları
1.	Delme- Patlatma	% 18-21
2.	Gevşetme, Ufalama ve Yükleme	% 15-17
3.	Taşıma	% 14-16
4.	Kırma - Eleme	% 46-53

2.1 Primer Kırıcılar

Primer kırıcılar; primer çeneli kırıcılar ve primer rotorlu kırıcılar olarak iki çeşittir.

Çeneli kırıcılar, bazalt, granit, nehir çakılı, boksit, sert kaya, kalker, kireç taşı, kömür, demir cevheri, manganez cevheri gibi kırılması en zor taşları bile kolaylıkla kırma için tasarlanmıştır. Çeneli kırıcılar en sert malzemelerin ilk kırılması için tasarlanmıştır. Ürün titreşimli ızgaralı bir besleyici ile üstten beslenir. Eksantrik döner tahrik şaftı malzemeyi sabit bir çene ile ezmek için hareketli çeneyi çalkalar. Çeneli kırıcılar bir motor tarafından hareket ettirilen bir bantla tahrik edilir (Anonim 2, 2016).

Primer rotorlu kırıcılar; gövde, rotor ve çarpma plakalarından oluşurlar. Rotorda sıralı bıçaklar vardır. Kapak bölümünde kırma ve çarpma astarları vardır. Gövde içi komple aşınma astarları ile kaplıdır. Bu tip kırıcılar çarptırma ve sıkıştırma ile kırma işlemi yaptığı için çeneli kırıcılara oranla daha kaliteli (kübik) üretim yaparlar. Ancak primer rotorlu kırıcı kullanımı ülkemizde pek yaygın değildir (Halili, 2003).

Primer darbeli kırıcılar, orta sertlikte az aşındırıcı malzemelerin yüksek boyut küçültme oranlarında kırılmasını kontrollü olarak primer kademedeki sağlayan kırıcılardır. Ağırlık olarak 3000 kg'a kadar 1300 mm ebadında malzemeyi bu kırıcılarda 100 mm ebadına indirmek mümkündür (Halili, 2003).

Kırıcı çarpma plakalarını taşıyan pandüller ile rotor arasındaki açıklık vidalı-yaylı veya hidrolik bir mekanizma (opsiyonel) ile ayarlanarak çıkış ürün boyutu rahatlıkla kontrol edilir (Nace, 2016).

2.2 Sekonder Kırıcılar

Sekonder kırıcılar; sekonder çeneli kırıcı, sekonder darbeli kırıcı, sekonder rotorlu kırıcı olarak üretilmektedir.

Sekonder çeneli kırıcılar yapraklı malzeme kırıldığından dolayı sekonder kırıcı olarak pek tercih edilmemektedir. Bu kırıcılar primer çeneli kırıcıların aynısıdır. Fakat primer çeneli kırıcılara oranla daha yüksek bir devirde çalışırlar. Devir sayısı % 25 oranında daha fazladır (Anonim 2, 2016).

Sekonder darbeli kırıcılar çarpıtma özellikleri olduklarından dolayı kübik malzeme üretirler. Bu kırıcılar gövde ve rotordan oluşurlar. Rotor üzerine kama ve cıvatarla bıçaklar monte edilir. Ön yüzünde kaburgalar vardır. Rotor bıçakları malzemeyi kaburgalara çarpıtılarak kırarlar. Genellikle 200-450 devir/dakika ile çalışırlar (Halili, 2003).

Sekonder rotorlu kırıcılar çarpma ve sıkıştırma özellikleri olduklarından dolayı karışık malzeme üretirler. Bu tip kırıcılar 400-600 devir/dakika ile dönerler ve primer rotorlu kırıcılarla aynı sistemde üretilirler (Nace, 2016).

2.3 Tersiyer Kırıcılar

Tersiyer kırıcılar merdaneli, çekiçli (değirmen), darbeli, konik ve düşey milli kırıcılar şeklinde tasarımılandırılırlar.

Merdaneli kırıcılar, tamamen sıkıştırarak kırma yaparlar. Birbirine ters istikamette dönen iki tamburdan oluşurlar. Arasına aldığı malzemeyi iki tambur arasında sıkıştırarak kırma yaptığı için, üretimleri yapraksıdır ve darbeli kırıcılara kıyasla daha az toz üretirler (Halili, 2003).

Çekiçli kırıcılar, gövde ve rotordan oluşurlar. Rotora bağlanan çok sayıdaki çekiç yüksek devir (600-1500 devir/dakika) sayesinde çarpma işlemini yaparlar. Dolayısıyla üretimler kübik ve kalitelidir. Ayrıca kireçtaşı gibi yumuşak malzemelerde kum oranını da (0-5 mm) arttırırlar (Nace, 2016).

Darbeli kırıcılar, hem sekonder hem de tersiyer olarak kullanılmaktadır. Çarpıtma özellikleri oldukları için kübik ve kaliteli malzeme üretirler.

Düşey milli kırıcılar, hem sekonder hem de tersiyer amaçlı kullanılırlar. Bu kırıcılar tamamen çarpma ile kırma yaptıkları için üretimleri kübik ve çok kalitelidir. Düşey milli kırıcılar, gövde ve düşey milde bulunan rotordan oluşurlar. Gövdenin içi komple sabit astarlarla kaplıdır. Rotora ise bıçaklar monte edilmiş durumdadır. Kırma işlemini; hızlı devir (1000-1500 devir/dakika) sayesinde malzemeyi astarlarla

ve birbirlerine çarpıtılarak gerçekleştirilmektedir (Anonim 2, 2016).

Konik kırıcılar, sekonder ve tersiyer olarak kullanılırlar. Bu kırıcılar sert ve aşındırıcı malzemeleri kırmak için geliştirilmiştir. Kendi eksenini etrafında (100-1500 devir/dakika) dönerek malzemeyi ezme ve darbe etkisiyle kırarlar. Kırma ve eleme tesislerinde üretim kapasitesinin sağlıklı olabilmesi için kırıcılar arasındaki kırma dengesi sağlanmalıdır. Yani sekonder kırıcının deşarj aralığı primer kırıcının deşarj aralığına göre ayarlanmalıdır. Tersiyer kırıcının deşarj aralığı ise sekonder kırıcının deşarj aralığına ve ayrıca eleğin en üst elek ebadına uygun olarak ayarlanmalıdır. Örneğin; 140'lık bir kırma-eleme tesisinin primer açıklığı 18 cm iken sekonder açıklığı 6 cm, tersiyer açıklığı 2,5 cm olmalıdır. Böylece tesise verilen malzemenin tesis içinde fazla kalması engellenmiş olur. Bu da üretimin sağlıklı ve verimli olmasını sağlar (Halili, 2003).

3 KIRMATAŞ OCAKLARINDA TİTREŞİM PROBLEMİ

Kırmataş ocaklarında kullanılan ekipmanlar çalışma prensipleri gereği salınım hareketi yaparlar. Bu düzenli hareketleri zamanla süresiz hale gelerek istenmeyen titreşim hareketine sebep olurlar (Nace, 2016).

3.1 Titreşim

Titreşim, bir cismin dinlenik konumuna göre düzenli veya düzensiz olarak oluşturduğu periyodik hareketlerle meydana gelen mekanik salınımlar olarak tanımlanmaktadır (Cardinale ve Bosco, 2003). İnsan vücudunda titreşim vücutla temas eden bir araç ya da mekanizmanın periyodik hareketleriyle oluşmaktadır (Kroamer ve Grandjean, 1997).

Titreşim genliği ve frekansı olan salınımlı bir hareket yapmaktadır. Bir cismin pozitif ve negatif yöndeki en büyük yer değiştirmesi olarak tanımlanan titreşimin genliği salınımların büyüklüğünü milimetre (mm) cinsinden belirlerken, birim zamanda tamamlanan titreşim sayısı olarak tanımlanan titreşim frekansı salınımların tekrarlama hızını

Hertz (Hz) cinsinden belirlemektedir (Cardinale ve Bosco, 2003).

Genellikle katı ortamlarda yayılan ve dokunma duygusu ile hissedilen alçak frekanslı ve yüksek genlikli mekanik salınımlardır. Bir başka ifade ile potansiyel enerjinin kinetik enerjiye, kinetik enerjinin potansiyel enerjiye dönüşmesi olayına titreşim (vibrasyon) denir (Şahin ve Işık, 2007).

3.1.1 İnsan titreşimi

Çalışma ortamında titreşim insan vücudu üzerinde,

- Fiziksel ve biyomekanik,
- Psikolojik veya sensöryel,
- Fizyolojik ve patolojik etkiler olarak kendini göstermektedir.

İnsan vücudu fizyolojik ve biyolojik olarak oldukça karmaşık doğası olan bir sistemdir. Mekanik bir sistem olarak bakıldığında, yapısında lineer elementler kadar lineer olmayan elementleri de bulundurur ve mekanik özellikler kişiden kişiye oldukça büyük değişiklikler gösterir. İnsanların titreşim ve şoklara tepkisini ele alırken, bunların hem fizyolojik hem de mekanik etkilerini de göz önüne almak gerekir (Sağlam, 2011).

El-kol titreşimi, insanda el-kol sistemine aktarıldığında, çalışanın sağlık ve güvenliği için risk oluşturan ve özellikle de damar, kemik, eklem, sinir ve kas bozukluklarına yol açan mekanik titreşimi ifade eder (Titreşim Yönetmeliği, 2013).

El-kol titreşimi için;

1. Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri 5 m/s^2 ,
2. Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet etkin değeri $2,5 \text{ m/s}^2$ dir (Titreşim Yönetmeliği, 2013).

Tüm vücut titreşimi, vücudun tümüne aktarıldığında, çalışanın sağlık ve güvenliği için risk oluşturan, özellikle de bel bölgesinde rahatsızlık ve omurgada travmaya yol açan mekanik titreşimi ifade eder (Titreşim Yönetmeliği, 2013).

Bütün vücut titreşimi için;

- 1) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri: $1,15 \text{ m/s}^2$

2) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet eylem değeri: $0,5 \text{ m/s}^2$ dir (Titreşim Yönetmeliği, 2013).

3.1.2 Makinelerde oluşan titreşimi

Makine parçaları periyodik hareket yapacak şekilde tasarlanır. Bu hareket sırasında makinelerin çeşitli elemanlarına zamana göre değişen kuvvet ve momentler uygulanır. Bunun sonucu titreşimler ortaya çıkar. Titreşimlerin ve bunlarla birlikte gelen kuvvet ve moment değişikliklerinin tasarımlarda dikkate alınması gereklidir. Zira makinelerde titreşimler, statik kuvvetlerin ötesinde zamana göre değişen kuvvetlere sebep olur. Bu kuvvetlerin genliklerinin büyük olması ise bazı parçaların mukavemet sınırlarının ötesinde yüklenmesine ve kalıcı deformasyonlara sebep olabilir (Aktürk, 1993).

Makinelerde titreşim olması genelde arzu edilmez. Çünkü titreşimler sırasında makine parçalarına uygulanan kuvvet gürültü, yüksek gerilmeler, aşınma, malzeme yorulması gibi istenmeyen davranışlara sebep olur. Ancak titreşimden yararlanan bazı makineler de vardır (Aktürk, 1993).

3.2 Ölçme Standartları

El-kol titreşimi ve tüm vücut titreşimine ilişkin maruziyet ve ölçüm metotları ile değerlendirilmesinde temel alınan standartlar ISO standartları esas alınarak ve tercüme edilerek oluşturulmuştur.

Türk Standartlar Enstitüsü tarafından yayımlanan bu standartların bazıları aşağıda ana kapsamlarıyla anlatılmıştır.

- TS EN ISO 5349-1 (2005) Mekanik Titreşim-Kişilerin maruz kaldığı Elle İletilen Titreşimin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi. Bu standart, birbirine dik olan üç eksenle elle iletilen titreşime maruz kalmayı ölçmek ve rapora kaydetmek ile ilgili genel kuralları kapsamaktadır.

- TS EN ISO 5349-2 (2004) İş Yerlerinde ölçme yapmak için Pratik Kılavuz. İş yerlerinde elle iletilen titreşimin ölçülmesi ve değerlendirilmesi için kılavuzluk bilgilerini ve kurallarını kapsamaktadır.

- TSE 2775 (1977) Tüm Vücutun Titreşim Etkisi Altında Kalma Durumunun

Değerlendirilmesi İçin Kılavuz. Bu standart, 1-80 Hz frekans aralığındaki dönemli titreşimleri, gelişigüzel ve dağılımlı frekans spektrumlu dönemli olmayan titreşimleri ve bir yaklaşım olarak da enerjileri yine bu frekans bandında kalma koşuluyla sürekli şok tipi titreşimleri de kapsamaktadır.

- TS ISO 2631-2 (2001) İnsanın Tüm Vücut Titreşimine Maruz Kalmasının Değerlendirilmesi. Binalarda Sürekli ve Darbe İle Meydana Gelen Titreşim (1 Hz ila 8 Hz). Bu standart esas olarak bina titreşimine maruz kalan insanların rahatsızlıklarına bakılarak a) sürekli titreşim, b) kesikli titreşim hususlarıyla sınırlanmıştır. Geçici (darbeli) titreşimle ilgili son gelişmeler eklerinde verilmiştir.

- TS ISO 5805 (1999) Mekanik Titreşim ve Şok-İnsanın Maruz Kaldığı Terimler ve Tarifler. Bu standart, insan biyodinamiği veya mekanik titreşim ve şoka kalan insanın değerlendirmesini mümkün kılan diğer standartlardaki belirli kapsamlarda kullanılan terimlerin tariflerini kapsamaktadır. Çevre ve sağlık koruma, güvenlik, insan açısından titreşim ve şok gibi.

- TS 2774 (1977) Titreşim ve Şok Terimler ve Tarifler. Bu standart, titreşim ve şok ile ilgili terimlerin tarifini kapsamaktadır. Metroloji ve ölçme, fiziksel olaylar, titreşimler, darbe ve titreşim ölçümleri gibi (Şahin ve Işık, 2007).

3.3 Titreşim Ölçümü

Ölçümler yapılmaya başlanmadan önce, normal çalışma şartlarına ulaşmak amacıyla lâstikler dâhil, makinanın ısınması için yeterli zaman (en azından 10 dakika), makinanın belirli bir aralıkta hareket ettiği ve koltuk süspansiyon mekanizmasının (yerleştirilmişse) çalıştığı esnada sağlanmalıdır. Ölçme sonuçlarının gerekli olduğu donanımların her bir tipi (örneğin, lâstik takımı, kabin ve koltuk tipi) ile bir seri deney yapılmalıdır. Titreşim değerlerinin belirlenmesi için yapılan ölçmeler, bir seri deney sonucu elde etmek amacıyla seçilen çalışma modu için tekrar edilmelidir. Bir çalışma şartı, belirli bir aralıkta değiştiği zaman, bir seri deney, bir ikinci kullanıcı için gerektiği kadar tekrar edilen bir deney

güzergâhı üzerindeki N adet çalışmadan oluşmalıdır (TS EN ISO-1032 A1).

Titreşime maruziyeti yüksek oranda etkileyen araç/makine/cihazlar için titreşim ölçmeleri yapmak oldukça önemlidir. Günlük titreşime maruz kalmanın iyi bir dağılımını elde etmek için çalışanlar üzerinde etkisi olacak ölçümler aşağıdaki esaslarda dikkate alınarak yapılacaktır;

a) Titreşime maruz kalma kaynaklarının (başka bir deyişle kullanılmakta olan makineler ve aletler),

b) Motorlu aletlerin çalışma modlarının,

c) Titreşime maruz kalmayı etkileyebilen çalışma şartlarının bulunduğu yerde çalışma şartlarındaki değişikliklerinin,

d) Titreşime maruz kalmayı etkileyebilen yerleştirilen aletlerin,

e) İşçilerin ve denetçilerin (ustabaşlarının) dikkate aldıkları durumların en büyük titreşim değerini ortaya çıkarması ile ilgili işçilerden ve denetçilerden bilgi almak,

f) Titreşim emisyon değerleri, hakkındaki imalatçıdan alınan bilgiler kullanılarak veya benzer motorlu aletler üzerinde yapılan önceki ölçümlerin yayınlanan sonuçları kullanılarak her bir çalışma için potansiyel titreşim tehlikeleri tahminini yapmak.

Titreşim ölçüm yeri;

“Titreşim, vücuda iletiildiği nokta veya alana mümkün olduğu kadar yakın yerden tayin edilmelidir” esasına uyularak;

a) Yumuşak yüzeylerin (minder gibi) olduğu durumlarda, güç aktarıcı, kişi ile temas alanı arasına yerleştirilmelidir; bu husus, yumuşak yüzeyi boyunca üzerindeki basınç dağılımını bozmayacak şekilde tasarımılandırılmış yarı rijit ara yüzey içine güç aktarıcısının yerleştirilmesi ile yapılmalıdır.

b) Titreşim yüzeyi sert ise, güç aktarıcı rijit şekilde bağlanmalı ve gövde ile yüzey arasındaki temas alanına mümkün olduğu kadar yakın yere yerleştirilmelidir.

c) Titreşimin deneğe ulaştığı noktada ölçülmesi pratik olmuyor ise, denek ile güç aktarıcısı arasında konulacak ara yapıların iletim karakteristiklerinin tayin edilmesi gerekebilir (Şahin ve Işık, 2007).

Titreşim ölçüm işlemlerinin düzenlenmesi;

Titreşim ölçüm işlemlerinin hazırlanması dört temel yol ile yapılabilir:

a) Sürekli çalışan alette uzun süreli ölçme:

Çalışma süresi uzun ve süreklidir ve bu süre esnasında kullanıcı titreşen yüzey ile sürekli temas halindedir. Bu durumda, titreşim ölçmeleri motorlu aletin normal kullanımı esnasında uzun süreler boyunca yapılabilir. Titreşim büyüklüğündeki değişimlerin normal çalışma işlemlerinin bir parçası olması şartıyla çalışma, titreşim büyüklüğündeki değişimleri içerebilir. Titreşim büyüklüğü bilgisine ilâve olarak, günlük titreşime maruz kalmanın değerlendirilmesi günlük titreşime maruz kalma süresinin değerlendirilmesini de gerektirir.

b) Aralıklı çalışan alette uzun süreli ölçme:

Çalışma süresi uzundur. Ancak, kullanıcının titreşen yüzeye temasının sürekli olduğu çalışma ve aralar esnasında titreşime maruz kalmanın bulunmadığı kısa araları da içerir. Bu durumda, çalışmadaki aralar normal çalışma işlemlerinin bir parçası olması ve kullanıcının motorlu alete veya elle tutulan iş parçasına temasının kaybolmaması veya motorlu alet veya elle tutulan iş parçası üzerindeki kullanıcının ellerinin konumunu büyük oranda değişmemesi şartıyla titreşim ölçmeleri motorlu aletin normal kullanımı esnasında uzun süreler boyunca yapılabilir. Titreşim büyüklüğü bilgisine ilâve olarak, günlük titreşime maruz kalmanın değerlendirilmesi günlük titreşime maruz kalma süresinin değerlendirilmesini de gerektirir. Bu durumda, çalışmaya maruz kalma süresi titreşime maruz kalmadaki kısa araları içerir ve böylece, çalışmaya maruz kalma süresi titreşime maruz kalma süresinden daha uzun olur.

c) Aralıklı çalışan alette kısa süreli ölçme:

Birçok durumda, örneğin motorlu aletin yere bırakılması, motorlu aletin başka bir parçasına elin hareket ettirilmesi veya elle tutulan başka bir iş parçasının alınması gibi motorlu aletten veya elle tutulan iş parçasından sık sık el kaldırılabilir. Diğer durumlarda, örneğin farklı zımpara kayışları veya yerleştirilen matkap uçları veya

kullanılan alternatif motorlu alet gibi değişiklikler kullanılmakta olan motorlu aletlere uygulanmalıdır. Bu gibi durumlarda, kısa süreli ölçmeler sadece çalışma işleminin her bir aşaması esnasında yapılabilir.

Bazı durumlarda, ölçme amacı için maruz kalma sürelerinin çok kısa olması nedeniyle normal çalışma işlemleri esnasında güvenilir ölçümleri elde etmek oldukça zordur veya imkânsızdır. Bu gibi durumlarda, normal çalışma şartlarına olabildiğince yakın çalışma şartlarına haiz daha uzun süreli kesiksiz olan yapay olarak maruz kalmayı düzenleyen benzeştirilmiş çalışma işlemleri esnasında ölçmeler yapılabilir.

d) Alet çalışmasının titreşim patlamaları esnasında veya tekli veya çoklu darbelerle ait sabit süreli ölçme:

Bazı işlemler, kısa süreli titreşim patlamalarına maruz kalmayı içerir, bu durum, perçin tabancası, çivi tabancası, vb. gibi tekli veya çoklu darbeler veya motorlu lokma takımları gibi titreşim patlamaları olabilir. Bu gibi durumlarda, günlük titreşim patlamalarının sayısı tahmin edilebilir olmasına rağmen, gerçek maruz kalma sürelerinin değerlendirilmesi oldukça zordur. Bu durumda, ölçmeler, bir veya daha fazla tüm alet işlemlerini içeren sabit bir sürede yapılabilir. Ölçme süresi, titreşim patlamalarında olabildiğince az bir süre öncesini, titreşim aralarını ve sonrasını içermelidir. Titreşim büyüklüğü bilgisine ve günlük titreşim patlamalarına maruz kalma sayısının tahminine ilâve olarak, günlük titreşime maruz kalmanın değerlendirilmesi ölçme periyodu esnasında anlık titreşim sayısının ve ölçme süresinin değerlendirilmesini de gerektirir (Zeyrek, 2009).

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu araştırma sonucunda kırmataş ocaklarında kullanılan kırma ekipmanlarının titreşime sebep olarak zararlı etkilere yol açtığı görülmüştür. Titreşim, ekipmanlarda yorulmalara ve arızalara sebep olacağından istenmeyen bir durumdur. Titreşimin hasar boyutunu belirleyebilmek için titreşimin büyüklüğünü tespit etmek gerekeceğinden

ölçümler yapılmalıdır. Bu ölçümler TS EN ISO standartlarında belirtildiği şekliyle yapılmalıdır.

Kullanılan ekipmanların çalışma sürelerine bağlı olarak ölçümlerin alınacağı sıklıklar önerilmiştir.

Sadece ekipmanların değil iş yerinin güvenlik ve sağlığı da tehdit altında olduğundan titreşim önlenmeli veya en aza indirilmelidir. Titreşimi önlemek için uygulanması gerekli tedbirleri şu şekilde sıralayabiliriz; çalışma ve üretim hızı maruziyet sürelerine göre belirlenmelidir, kullanılan makine ve ekipmanlar teknik gelişmelere uyum sağlamalıdır, makine ve ekipmanların ergonomik olanlarını tercih etmek gereklidir.

KAYNAKLAR

- Aktürk, N, 1993. *Mekanik Titreşimler Ders Notu*, Ankara, 83 s.
- Cardinale, M, ve Bosco, C, 2003. *The Use Of Vibrations As An Exercise Intervention*. *Exerc Sport Sci Rev*, 31(1), 3 s.
- Çağlayan, M, Haberveren, S, İpekoğlu, B ve Kurşun, İ, 1999. Beton yapımında kullanılan agregaların özellikleri ve örnek bir kuruluş "İston", 2 *Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99*, s.69-79, İstanbul.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013. *Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik*, Ankara.
- Halili, A, 2003. *Agrega Üretiminde Kırma-Elleme ve Taşın Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Önemi, III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, s.186-189, İstanbul.
- Kroamer, K.H.E ve Grandjean, E, 1997. *Fitting the Task to the Human*, London: Taylor, Francis.
- Sağlam, H, 2011. *Çalışma Hayatında Maruz Kalınan Titreşimin Ölçülmesi ve Bu Maruziyetten Kaynaklanan Titreşimin İnsan Sağlığına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 101 s.
- Şahin, M.N. ve Işık, G, 2007. *Titreşim, İş Sağlığı ve İş Güvenliği Açısından Etkileri Risklerin Kontrolü ve Uygulamalar, İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu*, Ankara, 241 s.
- TS EN 1032+ A1, 2011. *Mekanik Titreşim - Titreşim Emisyon Değerinin Belirlenmesi Amacıyla Hareketli Makinaların Deneye Tabi Tutulması*, 26 s, Ankara.

Zeyrek, S, 2009. *Titreşim, İş Sağlığı ve Güvenliği, Uzmanlık Tezi*, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 122 s.

Anonim 1, 28.06.2016, <http://www.rotapatent.com/agregalarin-siniflandirilmesi-ve-tanimlar.html>

Anonim 2, 28.06.2016. <http://www.kirmaelemeyikamatesisi.com/konkaso-rler/kiricilar/ceneli-kirici/>

İş Sağlığı ve Güvenliği Tabanlı Problemlerin Çözümü için Yeni Bir Risk Analiz Yöntemi (HSA)

A New Risk Analysis Method (FCA) to Solve the Problems Based on Occupational Health and Safety

M. Ersoy, M. Y. Çelik

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Doğal Yapıtaşları Teknolojisi Programı, Afyonkarahisar

ÖZET: İş sağlığı ve güvenli konusu, zamanının önemli bir bölümünü iş çalışarak geçiren iş dünyası için çok önemlidir. İş kazalarının ve meslek hastalıklarının önceden tahmin edilmesi ve risklerin azaltılması amacıyla birçok çalışmalar yapılmış, sektörlere ve yapılan işin özelliklerine göre çeşitli risk analiz yöntemleri geliştirilmiştir.

Bu bildiriye, birinci bölümde yaygın olarak kullanılan bazı risk analizleri yöntemleri özetlenmiş, sonra iş yerlerinde oluşabilecek muhtemel kazalar, nedenleri ve etkileri açıklanmıştır. İkinci bölümde ise, iş yerlerinde uygulanabilecek, Hata-Sonuç Analizi (HSA) (Failure-Consequence Analysis (FCA)) olarak tanımlanan, yeni bir risk analiz ve izleme yöntemi önerilmiş olup yöntemin varsayımsal bir mermer ocağında uygulaması anlatılmıştır. Son bölümde de, yeni yöntemin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

Sonuç olarak önerilen yeni yöntemin basit ve kolay olduğu, bir defada tesis içindeki muhtemel kaza noktalarını, kazanın şiddetini ve nedenlerini belirleyebildiği savunularak ileriki aşamalarda geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

ABSTRACT: Occupational health and safety issue is very significant for employees who spend an important part of their time. Many studies related to predict occupational accidents and illness have been done to reduce the risks and risk analysis methods specialized for sectors and work specifications have been developed.

In this paper, at the first stage some popular risk analysis methods are summarized then probably accidents, causes and effects in workplace are described. At the second stage, a new risk analysis and management method named Failure-Consequence Analysis (FCA) is suggested and its application is explained on an imaginary marble quarry. At the last stage, the advantages and disadvantages of the new method are discussed.

As a result, it is underlined that the new method is simply and easy, can indicate the risk points, effects and causes in a one pass, need to be improved by further studies.

1. GİRİŞ

İnsanlar, yaşamlarını sürdürebilmek için zamanlarının büyük bir bölümünü çalışarak geçirirler. Çalışma ortamı, işinin özelliklerine göre çok çeşitli iş kazası ve meslek hastalığı risklerini barındırabilir. Çalışma ortamındaki riskler iş konforu, “iş sağlığı ve güvenliği” başlığı altında incelenebilir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)

ile Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) iş sağlığı ve güvenliğini, “tüm mesleklerde işçilerin bedensel, ruhsal, sosyal iyilik durumlarını en üst düzeye ulaştırmak, bu düzeyde sürdürmek, işçilerin çalışma koşulları yüzünden sağlıklarının bozulmasını önlemek, işçileri çalıştırılmaları sırasında sağlığa aykırı etmenlerden oluşan tehlikelerden korumak, işçileri fizyolojik ve

psikolojik durumlarına en uygun mesleksi ortamlara yerleştirmek, özet olarak işin insana ve her insanın kendi işine uyumunu sağlamak” olarak tanımlamıştır. Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) tespitlerine göre dünyada her üç dakikada bir işçi, iş kazası veya meslek hastalığından ölmektedir. Yine her yıl dünyada ortalama 110 milyon işçi iş kazası geçirmekte veya meslek hastalığına yakalanmaktadır. Bunlardan 180 bini yaşamını yitirmektedir (Özkılıç 2005).

İnsanların çalışma amacı, geçimlerini sağlamak, daha iyi şartlarda yaşamak ya da sadece zamanını değerlendirmek (hobi) olabilir. Çalışanlardan özellikle yaşamını el emeği ile kazanan işçiler, mesai saatleri boyunca birçok kaza ve meslek hastalığı risklerine maruz kalırlar. İş kazaları ve meslek hastalıkları, çalışanların yaşam kalitesini azalttığı gibi ölümler de sonuçlanabilir. İş yaşamının, normal hayatı etkilememesi ya da en az düzeyde etkilemesi için, iş yerindeki kaza ve meslek hastalığı risklerinin belirlenerek en aza indirilmesi gerekir. Bu amaçla, iş yerlerinde risk analizleri yapılarak, çalışma bölgesinde olabilecek tehlikelere cevap verebilecek, kasıtlı ya da kasıtsız tehditlerin etkisini ve olma ihtimalini azaltacak faaliyetler teşhis edilir.

Risk analizleri, riskin hesaplanması sırasında sayısal yöntemlerin ya da düşük, yüksek gibi sözel yorumların kullanılmasına göre kalitatif ve kantitatif risk analizleri olarak sınıflandırılırlar.

Risk analizi metodolojileri, risk analizi sürecinin matematiksel işlemler ve yorumlarının yapıldığı çekirdek kısmıdır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan risk analiz yöntemlerinden bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Olursa ne olur? (What If.?): Yöntem, “Olursa Ne Olur?” sorusuna verilen cevaplara göre problemlerin belirlenmesi ve her bir durum için sorumlu kişilere tavsiyelerde bulunulması şeklindedir. Yöntemi uygulayan kişinin bilgisi ve tecrübesine göre farklı sonuçlar alınabilir (Mullai 2006).

Ön tehlike analizi (Preliminary Risk Analysis (PRA)): PRA, bir faaliyeti yerine

getirirken gerçekleştirilecek kazaları analiz etmede kullanılan sistematik bir yöntem olup riski indirmek için tavsiyelerde bulunduğu gibi kazalar ile ilgili riski de aynı zamanda tanımlar. Kazanın belirlenebilmesi için; “Bu aktiviteyi yerine getirirken ne gibi potansiyel kazalar meydana gelebilir?, Bu kazanın oluşmasına neden olan en önemli olay nedir?” sorularının cevabı aranır ve verilen frekans ve şiddet tabloları kullanılarak risk indeks numaraları hesaplanır. Sonra kazanın frekansını ve şiddetini azaltıcı önlemler alınır (Mullai 2006).

Tehlike ve işletilebilirlik analizi (Hazard and Operability Studies (HAZOP)): Yöntem, belirli anahtar ve kılavuz kelimeler kullanarak yapılan sistemli bir beyin fırtınası çalışmasıdır. Anahtar kelimeler fazla, az, hiç vb. durumları ifade ederken, kılavuz kelimeler sıcaklık, basınç, akış vb. durumları ifade eder. Çalışmaya katılanlara, belli yapıda sorular hazırlanıp, bu olayların olması veya olmaması halinde ne gibi sonuçların ortaya çıkacağı sorulur. Öncelikle proses veya operasyonun bir adımı seçilir ve değişkeni tespit edilir. Sonra kılavuz kelimeler kullanılarak ve HAZOP akım şemasından yararlanılarak, anlamlı bir tehlikeli sapma belirlenir ve muhtemel nedenlerin listesi hazırlanır. En son tehlikeli sapmanın sonuçları gözden geçirilerek önleyici ve koruyucu önlemler tanımlanır, kalan riskin kabul edilebilirliği tartışılır (Habibi vd. 2008).

Çeklist kullanarak birincil risk analizi (Preliminary Risk Analysis (PRA) by Using Checklists): Yöntem, tehlikeli parçaları ve durumları gösteren kontrol listelerinin hazırlanması, tehlikelere değer biçilmesi ve kaza ihtimallerinin belirlenmesi, sonra gerekli önlemler belirlenerek önlemlerin yerine getirilip getirilmediğinin kontrol edilmesi şeklindedir (Özkılıç 2005).

Kinney Methodu: Kaza kontrolü için, matematiksel bir değerlendirme yöntemidir. Yöntemin uygulanmasında, önce risk matris değerlendirme formunda tehdit, kaza, sıklık ve sonuçlarıyla ilgili notlar alınır. Sonra verilen olasılık ve sıklık tabloları yardımıyla, bu dilsel ifadeler sayısallaştırılır. Olasılık ve sıklık değerleri çarpılarak risk hesaplanır ve

yeri Kinney risk değerlendirme matrisi üzerinde belirlenir. Aynı matrisin düşey ekseninde kazanın sonuçları ve şiddeti tanımlanmıştır ve ilgili satır ile sütunun kesişim noktası risk düzeyini ifade eder (Bäbuç vd.).

Risk değerlendirme karar matrisleri (Risk Assessment Decision Matrix): İki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi analiz etmede kullanılan bir tekniktir. L tipi ve X tipi olmak üzere iki farklı şekilde uygulanır (Özkılıç 2005).

L tipi matris yönteminde, olayın gerçekleşme ihtimali ve gerçekleşmesi halinde şiddeti derecelendirilir, sonra bu iki değer çarpılarak risk skoru hesaplanır. Derecelendirme şiddet ve ihtimal tablolarında verilen tanımlamalara göre yapılır. Hesaplanan risk skorunun değerine göre; tolere edilemez riskler (25), önemli riskler (15-20), orta düzey riskler (8-12), katlanılabilir riskler (2-6) ve önemsiz riskler (1) gibi tanımlamalar yapılır.

Çok değişkenli X tipi matris diyagramı yönteminde ise, sistem içinde bir bölüm veya olay seçilir sonra bununla ilgili son 5 yıla ait veriler incelenir ve nedenler belirlenmeye çalışılır, tekrarlanma ihtimali belirlenir. Önceki kazanın şiddetinin gerçekleşme olasılığı, önceki kazadan etkilenen personel sayısı, kazanın şiddetinin tekrarlanma olasılığı ve etkileyeceği personel üzerindeki etkisi, derecelendirme tabloları yardımıyla derecelendirilir ve değerler toplanarak risk derecelendirme skoru hesaplanır. Bu skor, yatay eksenleri olasılık ve personel sayısı, düşey eksenleri şiddet ve önceki benzer kazalar olan X tipi matris yardımıyla değerlendirilir.

Olay ağacı yöntemi (Event Tree Analysis, (ETA)): ETA, başlangıçta seçilmiş olan olayın, meydana gelmesinden sonra ortaya çıkabilecek sonuçları akışını diyagram ile gösteren bir yöntemdir. FTA dan farkı, tümevarım mantığı kullanılmasıdır (Sun vd. 2011).

Hata ağacı yöntemi (Fault Tree Analysis, (FTA)): Yöntem, tanımlanmış istenmeyen olay veya durumun nedenlerinin mantıksal kombinasyonunun grafiksel bir ifadesidir. Grafiğin zirve noktası teşhis edilen olaydır

ve bu olayın gerçekleşmesine neden olan diğer olaylara ve faktörlere kapılarla bağlıdır. Hata ağacında olaylar ve mantıksal kapılar, temel kavramlar olup bir olay ya oluşuyordur ya da oluşmuyordur. Sonra ifade “doğru” veya “yanlış” olarak belirtilir. Bu mantıksal değerler “1” ve “0” şeklinde de ifade edilebilir. Ağaç üzerinde (grafik) kapılar ve olaylar takip edilerek, zirve olayın kök nedeni belirlenebilir. Oldukça ayrıntılı ve genelde zaman alıcı bir yöntemdir (Ericson 1999).

Risk analizlerinde tehdidin olma ihtimali, tehdidin etkisi gibi değerlere sayısal değerler verilir ve bu değerler matematiksel ve mantıksal metotlar ile proses edilip risk değeri bulunur. Risk analizlerinin temel formülü, “Risk=Tehditin Olma İhtimali*Tehditin Etkisi” dir.

Risk analizleri incelendiğinde, ortak amacın, kazaların önlenmesi ya da sıklığının ve etkisinin azaltılması olduğu görülmektedir. Bu amaçla analizlerde kazanın nedeni (kazayı hazırlayan hatalar), yeri, şiddeti ve gerçekleşme olasılığı üzerinde durulur. Bir kazanın önceden tahmin edilebilmesi ve etkilerinin belirlenebilmesi için tüm bu kriterlerin detaylı şekilde analiz edilmesi gerekir.

Bu bildiride, iş yerinde oluşabilecek kazalar ve meslek hastalıklarıyla ilgili, “Hata-Sonuç Analizi (HSA) (Failure-Consequence Analysis (FCA))” olarak adlandırılan yeni bir analiz ve izleme yöntemi tanımlanmıştır. Önerilen yöntemin, kolay, basit ve hızlı bir yöntem olmasının yanı sıra, en önemli özelliği, iş yerinde iş güvenliği bakımından yapılan hataların, bunların kaza üretme olasılığının, kazanın gerçekleşmesi durumunda etkilerinin ve muhtemel yerinin bir defada tespit edilebilmesi ve tek bir form üzerinde görülebmesidir (Ersoy 2015).

2. İŞ KAZALARININ NEDENLERİ

İş kazaları incelendiğinde, yaşanan her kaza için, kazayı hazırlayan çeşitli unsurlar olduğu ve bunu tetikleyen bir olayın gerçekleştiği görülmektedir. Gerek kazayı hazırlayan unsurların gerekse gerçekleşmesi muhtemel

tetikleyici olayın belirlenememesi veya gereken önlemlerin alınmaması halinde kaza gerçekleşmekte ve kazaya maruz kalan kişi ya da kişiler ayakta tedaviden ölüme kadar çok çeşitli bedeller ödemektedirler. Ayrıca kazaya maruz kalmayıp şahit olan ya da arkadaşının başına gelenleri öğrenenlerde de psikolojik hasarlar oluşmaktadır. Bu durum işveren açısından da cezalar, iş ve prestij kayıpları ve tesiste oluşacak hasarlardan dolayı maddi kayıplara neden olmaktadır. Bu yüzden her işletmede, yapılan işin özelliklerine göre gerçekleşmesi muhtemel kazalar, buna neden olan hatalar ve alınması gereken önlemler önceden belirlenerek iş kazalarını sıklığı ve etkileri en düşük seviyede tutulmalıdır.

İş kazalarının nedenleri çevre etkileri, kullanılan makina ile ilgili faktörler ve çalışanların hataları olmak üzere üç başlık altında incelenebilir. Gerçekleşen kazalar da genel olarak çalışan kişinin düşmesi, sıkışması ya da herhangi bir nesne ile çarpışması, vücudunun herhangi bir yerinin delinmesi, kesilmesi, yanması ya da şok etkisine maruz kalması ve meslek hastalığına yakalanması şeklinde gerçekleşebilir.

2.1. Çevre Etkileri

İş sağlığı ve güvenliği bakımından çevre ile ilgili konular; ergonomi, temizlik ve düzen, uyarı işaretleri ve engelleyici önlemler olarak sıralanabilir.

Ergonomi; çalışma ortamının konforu olarak tanımlanmaktadır. Ortamın çalışmaya elverişli olmaması çeşitli meslek hastalıklarına yol açtığı gibi kazalara da neden olabilir. Ergonomiyi etkileyen bazı faktörler; aşırı sıcak, soğuk ya da nemli hava, hızlı hava akışı (cereyan), aşırı ışık (parlama, flaş) ya da yetersiz aydınlatma, toz ve gürültü olarak sıralanabilir.

Çalışma ortamının sağlıklı olması için hava sıcaklığı, nem ve havanın akış hızı önemlidir. Uygun hava sıcaklığı hafif işler için 21-25 °C, ağır işler için 17-21 °C arasında, havadaki bağıl nem 30-80% arasında, hava akış hızı da sıcaklığın ve bağıl nem oranının artışına göre 0.1-0.5 m/s arasında olmalıdır (Gülçubuk 1996). Normal

şartlarda 0.5 m/s'nin üzerindeki hava akışlarında esinti hissedilir. Bu değerlerin dışında, çalışanlarda üşüme, ürperme ve sonrasında hastalanma ya da aşırı sıcaktan dolayı yorgunluk, dikkat dağılması, bunalma ve verim kaybı yaşanır. Bu rahatsız durum, çalışma sırasında işçinin hata yapmasına ve kazalara neden olabilir.

Çalışma ortamının yeterince aydınlatılmaması görüş alanını kısıtlayacağından kazalara neden olabilir. Çalışma bölgelerinin hiçbir yerinde aydınlatma değeri 20 lux ün altına düşmemeli, çalışma bölgelerinde ise yapılan işin önemine göre 500-1000 lux arasında olmalıdır (EN 12464-1 2011). Gün boyunca çok yüksek ışık olması ya da aralıklı veya devamlı parlamalar (flaş) yaşanması göz sağlığı açısından uygun değildir, bu durumda çalışanların koruyucu gözlük kullanması gerekir.

Havada toz ve bazı kimyasalların bulunması çalışanların solunum yolu rahatsızlıklarına yakalanmasına sebep olur. Çalışma ortamının havası, toz, buğu, kötü koku ve duman çıkaran işlerin yapıldığı yerlerde baca ve vantilatörlerle temizlenir. Hava kalitesi ne kadar iyi olursa olsun, kapalı alanlar günde ez an 1 saat havalandırılmalıdır. Ayrıca çalışanların gaz ve toz maskesi kullanması gerekir.

İşin gereği olarak, çalışma ortamı gürültülü olabilir. Bu ortamda uzun süreli çalışanlarda, kulakta çınlama, sessiz ortamda bile uğultu hissetme ve işitme kayıpları görülür. Normal şartlarda gürültü seviyesi ofis çalışmalarında 60 dB(A) in altında, diğer işlerde de 80 dB(A) in altında olmalıdır. 140 dB(A) in üzerinde devamlı veya patlama sesi gibi ani gelişen darbe etkili gürültüler, geçici ya da kalıcı işitme kayıplarına neden olabilir. Çalışanlar bu etkilerden korunmak için kulaklık kullanmalıdır.

Çalışanların uzun süre maruz kaldıkları ve frekansı 2 Hz den düşük olan titreşimler merkezi sinir sistemi şikâyetlerine, bulantı, kusma ve soğuk terleme gibi sonuçlara neden olabilir. Frekansı 2-30 Hz arasında olan titreşim etkileri de dolaşım bozuklukları, uyuşma, omuz ve bel ağrıları şeklinde görülür. Titreşimden korunma, çalışma

sürelerinin kısıtlanması veya titreşim kaynağında alınan tedbirlerle mümkün olur. Bu etkiye karşı geliştirilmiş kişisel koruyucu donanım bulunmamaktadır.

Temizlik ve düzen; kazaların oluşmasında hazırlayıcı faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Çalışma ortamında hammadde ve ürünün düzensiz istiflenmesi, çöp ve atıkların konteynerler yerine çevreye atılması, geçişleri ve taşıma işlerini engellemekte, çalışanların takılarak düşmesi, çarpması, sıkışması gibi kazalara neden olmaktadır. Bunu yanında, makina üzerinde unutulmuş küçük el aletleri, sürahi ve bardak gibi gereksiz bazı eşyalar da, çalışma sırasında ciddi kazalara neden olabilmektedir. Zeminin ve geçiş yollarının tozlu ve ıslak olması, çalışanların kayarak düşmeleri için uygun ortam yaratmakla birlikte, ortamda sıyrık ve eski elektrik tellerinin bulunması da, ciddi elektrik çarpmalarına neden olabilir.

Uyarı işaretleri ve engelleyici önlemler; tehlikeli durumun çalışanlara devamlı hatırlatılması bakımından önemlidir (Chan and Ng 2012). Yasak, tehlikeli ve yangınla ilgili işaretlerde kırmızı, “dikkatli ol, kontrol et, önlem al” anlamındaki işaretlerde sarı ve tehlikenin olmadığı bölgelerde yeşil renk kullanılır. Bunun dışında acil durumlarda sesli ve ışıklı uyarı işaretleri de kullanılır.

2.2. Makina Güvenliği

Makina kaynaklı kazalar, makinanın üretim amacından farklı işler için kullanılması ya da kullanımı sırasında üretici firmanın önerilerinin dışına çıkılması, makinanın çok eski ve bakımsız olması gibi faktörlerden kaynaklanır. Ayrıca makinanın sabit ve sağlam olmaması, enerji tesisatının düzenli olmaması ya da eski olması, hareketli parçalarının koruyucularla muhafaza edilmemiş olması da kazalara neden olabilir. Bu kazalardan bazıları, parça sıçraması, çalışanın bir yerinin kesilmesi ya da delinmesi, elektrik çarpması, patlama vb. şeklinde sıralanabilir.

Bunun dışında herhangi bir iş için yeni teknoloji ile üretilmiş makina kullanılmaması, eski yöntemlerle çalışılması da, çalışma sırasında iş gücü kullanımını

artıracaktır. Dolayısıyla işçinin ağır yük (25 kg dan fazla) kaldırması gibi iskelet sistemini zorlayıcı faaliyetler yapması ya da mesai sonuna kadar hep aynı tekrarlı hareketler (alma-koyma, vida sıkma vb.) yapması söz konusu olacaktır. Bu da bir süre sonra çalışanın kemik yapısında bozulmalara neden olabilir.

2.3. İnsan Davranışları

İş kazalarının büyük bir bölümü insan hatalarından kaynaklanmaktadır. Gerçekte çalışma ortamını organize eden, düzenleyen, makinayı üreten, bakımını yapan ve çalıştıran, gerekli güvenlik tedbirlerini alan ya da ihmal edenlerin de farklı insanlar olduğu düşünülürse, kazaların tamamının insan kaynaklı olduğu söylenebilir. Doğrudan insan kaynaklı iş kazalarının nedenleri, çalışanların eğitim ve tecrübe eksikliği, psikolojik durumları ve yönetim şekli olmak üzere üç ana başlıkta toplanabilir.

Eğitim ve tecrübe iki şekilde değerlendirilebilir. Birincisi çalışan kişinin yaptığı işi ya da kullandığı makinayı tanıması, ikincisi ise iş güvenliği eğitimi, yani hata yaptığına olacakları bilmesidir. Yaptığı iş hakkında eksik ya da yanlış bilgiye sahip olan çalışanların hata yapması ve kazaya neden olması doğaldır.

Psikolojik durum, insan kaynaklı kazaların oluşmasında en önemli etkidir. Her ne sebeple olursa olsun moral ve motivasyon eksikliği, çalışanın dalgın ve düşünceli olmasına dolayısıyla hata yapmasına neden olur. Ayrıca arka arkaya fazla mesai yapan çalışanlarda da yorgunluk, verim düşüklüğü ve dikkat eksikliği görülür. Bu durumda da çalışanın hata yapması ve kazaya neden olması ihtimali yükselir.

Dikkat bir kişilik özelliğidir ve çoğu zaman bazı insanlar tüm ayrıntıları görebilirken bazıları da en belirgin değişiklikleri bile fark edemezler. Çalışma alanında uyarıcı işaretlerin kullanılmasının en önemli nedeni de, özellikle bu tip çalışanların dikkatini çekerek kazaların oluşmasını engellemektir. Risk alma da, bir kişilik özelliğidir. Bazı insanlar buldukları

çevrede farklı olduklarını ya da daha cesur olduklarını ispatlamak için, “ben bu şekilde de yapabilirim, bana bir şey olmaz” edasıyla en hayati tedbirleri ihmal ederler. Bu tip çalışanların “sadece bir kez yapamama hakkı olduğu ve yapamadığında ya sakat kalacağı ya da öleceği, bunun anlamsız olduğu” konusunda bilinçlendirilmeleri gerekir.

İş kazalarının genellikle kök nedenini yönetim oluşturur. Çünkü yukarıda bahsedilen birçok faktör işveren ve işveren temsilcilerinin sorumluluğunda olan konulardır. Organizasyonun kötü yapılması, çalışanlar arasında ayırım yapılması ya da çalışanların problemlerinin yönetim tarafından dikkate alınmaması, moral ve motivasyonu düşüreceğinden hem verimin düşmesine hem de isteksiz çalışmadan dolayı iş kazalarına neden olabilecektir. Yöneticiler, genellikle maliyetleri düşürmek adına, iş kazalarına karşı alınması gereken tedbirleri ihmal edebilirler. Bu durum iş yeri sahibi veya temsilcisinin eğitimi ve konuya bakış açısı ile ilgili bir durumdur. Bu tür işletmelerde tüm çalışma alanlarının ciddi risk bölgeleri olduğu düşünülebilir.

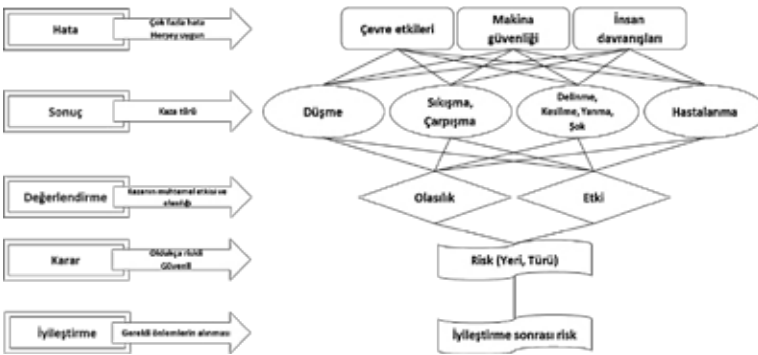
2.4. Hata-Sonuç Analizi (HSA)

HSA, sade basit ve kolay uygulanabilir olmasının yanı sıra gerçekleşecek kazanın

türünü, şiddetini ve kaynağını bir seferde belirleyebilmesi bakımından etkin bir risk analizi ve izleme yöntemidir. Yöntemin uygulaması kısaca 6 adımda açıklanabilir.

- İnceleme alanı, çalışma bölgelerine ayrılır ve her bir çalışma bölgesinde iş güvenliği ile ilgili eksiklikler ve hatalar belirlenir.
- Çalışma alanında gerçekleşebilecek kaza türü tahmin edilir.
- Gerçekleşebilecek kaza türüne göre kazanın şiddeti belirlenir.
- Risk skorları hesaplanır.
- Her bir çalışma bölgesi için hesaplanan skorlar tek bir formda toplanarak tesisin genel risk skoru hesaplanır ve tesiste gerçekleşmesi muhtemel kaza, yerleri, türleri, şiddetleri ve nedenleri belirlenir. Böylece kaza parametreleri ile birlikte kazanın gerçekleşeceği çalışma birimi de görülebilir.
- İyileştirme programı hazırlanarak uygulamaya konur ve kazanımların belirlenmesi için tekrar risk analizi yapılır.

Analizler ve iyileştirme programları, tesisdeki eksik ve hatalar sıfırlanmaya kadar devam eder. Yöntem için geliştirilen hiyerarşik yapı Şekil 1 de verilmiştir.



Şekil 1 HSA akış şeması

HSA yönteminin uygulanmasında başlangıçta Çizelge 1’de verilen inceleme formu kullanılır. Formun “F” ile gösterilen bölümünde, çalışma alanıyla ilgili kaza oluşturabilecek faktörler bulunmaktadır. Bu

çalışmada kaza üretebilecek faktörler, çevresel etkiler, makina güvenliği ve insan davranışları olmak üzere 3 ana başlık altında toplanmış ve her bir başlık altında ikinci düzey etkenlere yer verilmiştir. Kaza

üretebilecek faktörler Laitinen vd. (1999) da, Elmeri izleme yöntemi için önerilen listenin revize edilmesi şeklinde oluşturulmuştur. Burada gerek gruplandırma gerekse gruplar altında verilen etken faktörler, yapılan işin özelliklerine ve önemine göre artırılabilir, azaltılabilir ya da değiştirilebilir.

Formun "C" ile gösterilen bölümü ise, gerçekleşmesi muhtemel kaza türlerinden meydana gelmektedir. Bu çalışmada kaza

Çizelge 1 Gözlem çizelgesi, Form 1

Form 1				Düşme			Sıkışma veya çarpışma			Delinme, kesilme, yanma veya şok			Hastalanma			Hata Skoru
Bölüm: Tarih: Uzman: Açıklama:	Sonuçlar, C			kayarak veya takılarak	yüksekten	çalışanın üzerine parça düşmesi	iki nesne arasında	hareketsiz bir nesne ile	hareketli bir nesne ile	çalışan bir nesnenin delmesi veya kesmesi	çalışan elektrik çarpması veya boğulma	patlama veya yangın	toz, gürültü veya aşırı ısı nedeniyle	kas ve iskelet sisteminin zorlayan veya tekrarlı hareketler nedeniyle	aşırı sıcak, soğuk veya kimyasallar nedeniyle	F _i *ΣC _i
Hatalar, F	Fw	Fe	Fw+Fe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	F _i
Çevre etkileri Ergonomik faktörler Temizlik ve düzen Uyarı ve önleme işaretleri			Fi	Cij											Cim	Fsi
Makina güvenliği Uygunluk ve kullanım Model ve bakım Enerji ve tesisatı																
İnsan davranışları Eğitim ve deneyim Psikolojik durum Yönetim			Fn	Cnj											Cnm	Fsn
Sonuç Skoru	Σ(Fi-Ci)			Csi											Csm	ΣCsi=ΣFi si

türleri, düşme, sıkışma ve çarpma, delme, kesme, yanma ve şok etkisi ve meslek hastalıkları olarak 4 ana başlık altında toplanmış ve her bir başlık altında bazı ayrıntılara yer verilmiştir. Yine "F" bölümünde olduğu gibi burada da, gerek gruplandırma gerekse gruplar altında verilen kaza ve hastalık türleri, yapılan işin özelliklerine ve önemine göre özetlenebilir ya da çeşitlendirilebilir.

Formun doldurulması çok basit olup ilk aşamada çalışma alanı incelenir, eksiklikler belirlenir ve formun hatalarla ilgili bölümü (F), 0 ile 4 arasında puanlar verilerek değerlendirilir. F bölümü Fw ve Fe olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Bunlarda Fw, çalışan işçilerden kaynaklı hataları Fe ise işveren ya da işveren vekilinden kaynaklanan hataları temsil etmektedir. Hesaplamalarda, iki farklı kaynaktan oluşan hataların toplamı dikkate alınır. Puanlama, çalışma alanında iş güvenliği bakımından yapılan yanlışların oranına göre belirlenir. Uzman tarafından, yapılan tüm faaliyetlerin yanlış olduğu değerlendirildiğinde 4, alınması gereken tüm önlemlerin yerine getirilmesi durumunda da 0 puan verilir (Çizelge 2). Puanlar, yönetici ve çalışan için ayrı sütunlarda gösterilir ve toplam hata maksimum 4 olabilir. Böylece çalışma

alanının iş güvenliği bakımından uygunluğu ve hata kaynağı tespit edilmiş olur.

Çizelge 2 de verilen hata puanı çizelgesi 0-4 olarak bölümlendirilmesine rağmen ihtiyaca göre 0-5, 0-10, 0-100 şeklinde farklı derecelendirmeler de kullanılabilir.

Formun kaza sonuçlarıyla ilgili bölümünün (C) doldurulmasında da, önce yapılan hatanın ya da eksikliğin hangi tür kazaya neden olacağı belirlenir, sonra bu kazanın şiddeti ve bu şiddette gerçekleşme olasılığı tahmin edilerek 0 ile 4 arasında derecelendirilir. Puanlamada Çizelge 3 de verilen tablodan yararlanır. Tablonun sütunları kazanın şiddetini, satırları ise şiddetin gerçekleşme olasılığını ifade eder. İncelemeyi yapan kişi her iki faktörü de birlikte düşünerek ilgili satır ve sütunun kesişim noktasındaki değer skor olarak belirler.

Çizelge 3 de verilen derecelendirme de, önceki tablodaki gibi ihtiyaca ve yöntemin

uygulanacağı tesisin özelliklerine göre değiştirebilir.

Çizelge 2 Hata puanı çizelgesi

Puan	Tanımlama
0	Gerekli olan tüm önlemler alınmış, Hata yok
1	Düşük kusur, gerekli önlemlerin yarısından fazlası alınmış
2	Bazı eksikler var
3	Yüksek kusur, gerekli önlemlerin yarısı bile alınmamış
4	Hiçbir önlem alınmamış

Çizelge 3 Sonuç puan çizelgesi

Olma olasılığı, Sıklık	Tanımlama	Etki Düzeyi, Şiddet		
		Hafif	Şiddetli	Çok şiddetli
Mümkün değil, Çok nadir	Mümkün değil, Çok nadir	Etkisiz 0	Az etkili 1	Etkili 2
		Az etkili 1	Etkili 2	Çok etkili 3
	Belki, Zaman zaman	Etkili 2	Çok etkili 3	Oldukça etkili 4
		Az etkili 1	Etkili 2	Çok etkili 3
Kesinlikle, Sık sık	Etkili 2	Çok etkili 3	Oldukça etkili 4	
	Az etkili 1	Etkili 2	Çok etkili 3	

Verilen puanlar Form 1 de ilgili hata satırı (F) ile sonuç sütununun (C) kesişim noktasında belirtilir. Ayrıca bir çalışma bölgesinde aynı hatadan kaynaklı birkaç farklı kaza yaşanabilir, bu kazaların şiddeti ve etkisi de farklı olabilir. Bu yüzden aynı hataya ait satır boyunca birden fazla kaza puanı verilebilir. Çalışma biriminde yapılan işin özelliklerine göre, gerekli olmamasına rağmen listede belirtilen unsurlara, herhangi bir puan verilmez, değerlendirme dışında tutulur.

İnceleme formları, her çalışma bölgesi için en az bir adet olmak üzere tüm tesis için hazırlanır. Birden fazla zamanın çalıştığı iş güvenliği analizlerinde her zaman birer form doldurarak tercihlerin ortalaması alınabilir.

Formların doldurulma işleminden sonra hata skorları (Fs), sonuç skorları (Cs) ve risk skoru (Ri) hesaplanır. Hata skorları, satır boyunca sonuç puanlarının toplamının hata puanıyla çarpımı şeklinde hesaplanır ve formun son sütununda belirtilir (Eşitlik 1). Böylece kaza risklerini temsil eden bir sütun vektörü oluşturulmuş olur.

$$Fs = F_i \times \sum_{j=1}^n C_{ij} = \sum_{j=1}^n (F_i \times C_{ij}) \quad [1]$$

Sonuç skorlarının hesaplanması da, sütun boyunca hata puanları ile sonuç puanlarının çarpımlarının toplamı şeklindedir (Eşitlik 2). Bulunan her değer formun alt satırında

belirtilir. Böylece kaza risklerini temsil eden bir satır vektörü oluşturulmuş olur.

$$Cs = \sum_{i=1}^n (F_i \times C_{ij}) \quad [2]$$

Formda sütun vektöründe belirtilen hata skorlarının toplamı ile satır vektöründe belirtilen sonuç skorlarının toplamı birbirine eşittir ve çalışma bölgesinin toplam kaza riskini ifade eder (Eşitlik 3).

$$R_i = \sum Fs = \sum Cs \quad [3]$$

Tesisin tamamında ihmal edilen güvenlik önlemlerini belirlemek için, Form 1 de hesaplanan hata skoru sütun vektörleri, Form 2 olarak adlandırılan yeni bir form üzerinde birleştirilir ve form üzerindeki satır ve sütunlar toplanır (Çizelge 4). Sonra toplam satırındaki ve sütunundaki her bir değer yüzdesi hesaplanır. Böylece tesiste en çok ihmal edilen güvenlik önlemleriyle tesisin en çok risk taşıyan bölümleri aynı anda izlenebilir. Hesaplamalar Eşitlik 4, 5, ve 6 da verilmiştir.

$$R_i = \sum_{i=1}^m Fs_{ij} \leftrightarrow R_j = \sum_{j=1}^n Fs_{ij} \quad [4]$$

$$R = \sum_{i=1}^m R_i = \sum_{j=1}^n R_j \quad [5]$$

$$R_i \% = \frac{R_i}{R} \times 100 \rightarrow R_j \% = \frac{R_j}{R} \times 100 \quad [6]$$

Sonuç skorları için de Form 1 de hesaplanan sonuç skoru satır vektörleri, Form 3 olarak adlandırılan yeni bir form

üzerine taşınır ve Form 2 deki benzer şekilde satır ve sütunlar toplanır (Çizelge 5). Sonra satır ve sütun yüzdeleri hesaplanarak, tesis içinde en çok kaza yaşanabilecek çalışma bölgesi ve kazanın şiddeti aynı anda izlenebilir. Hesaplamalar Eşitlik 7, 8, ve 9 da verilmiştir.

$$R_i = \sum_{i=1}^m Cs_{ij} \leftrightarrow R_j = \sum_{j=1}^n Cs_{ij} \quad [7]$$

$$R = \sum_{i=1}^m R_i = \sum_{j=1}^n R_j \quad [8]$$

$$R_i\% = \frac{R_i}{R} \times 100 \rightarrow R_j\% = \frac{R_j}{R} \times 100 \quad [9]$$

Tesis için bir iş güvenliği iyileştirme programı düzenlenmesi durumunda, hata odaklı ve sonuç odaklı olmak üzere iki farklı yol izlenebilir.

Hata odaklı iyileştirme programında, Form 2 de hesaplanan risk yüzdelerinden yararlanılır (Çizelge 3). İyileştirme programına önce en yüksek risk oranına sahip olan çalışma alanının incelenmesiyle başlanır. Bu yüzden seçilen çalışma alanı için hazırlanan Form 1 incelenir, aksaklıklar belirlenir ve gerekli önlemler alınır. Bu arada risk oranı en yüksek olan hata türü de tesis

genelinde iyileştirme programına alınır. Sonra gerek çalışma alanı gerekse alınması gereken önlemler bazında, hesaplanan risk yüzdelerine göre sıra ile tüm faktörlerin iyileştirilmesi yapılır.

Sonuç odaklı iyileştirme programında ise Form 3 de hesaplanan risk yüzdelerinden yararlanılır (Çizelge 4). Yine risk oranı en yüksek olan çalışma alanına ait Form 1 incelenir, aksaklıklar belirlenir ve giderilir. Bu arada tesis bazında karşılaşılabilecek en yüksek risk oranına sahip kaza türü de ilk etapta iyileştirme programına alınarak bu kazayı tetikleyen faktörler belirlenir ve giderilir. Sonra gerek çalışma alanı gerekse gerçekleşmesi muhtemel kaza bazında, hesaplanan risk oranlarına göre sıra ile tüm faktörlerin iyileştirilmesi yapılır.

Tesiste iyileştirme çalışmalarının tamamlanmasından sonra tekrar risk analizi yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılır ve kazanımlar belirlenir. Risk analizlerine ve iyileştirme programlarının uygulanmasına, Form 1 de hata sütununun tamamı sıfırlanmaya kadar devam edilir.

Çizelge 4 Hata değerlendirme çizelgesi, Form 2

Form 2	Hatalar (F)		A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	Risk	
								ΣF_s	%
Çevre etkileri	Ergonomik faktörler	Fs1	Fsi	Fsi	Fsi	Fsi	Fsi	Rj	Rj%
	Temizlik ve düzen	Fs2							
	Uyarı ve önleme işaretleri	Fs3							
Makina güvenliği	Uygunluk ve kullanım	Fs4							
	Model ve bakım	Fs5							
	Enerji ve tesisatı	Fs6							
İnsan davranışları	Eğitim ve deneyim	Fs7	Fsn	Fsn	Fsn	Fsn	Fsn	Rn	Rn%
	Psikolojik durum	Fs8							
	Yönetim	Fs9							
Risk	ΣF_s	Ri			Rm		ΣR		
	%	Ri%			Rm%				

* A: Çalışma alanı, F: Hata, R: Risk

Çizelge 5 Sonuç değerlendirme çizelgesi, Form 3

Form 3	Düşme			Sıkışma veya çarpışma			Delinme, kesilme, yanma veya şok			Hastalanma			Risk	
Sonuçlar (C)	kayarak veya takılarak			iki nesne arasında			bir nesnenin delmesi veya kesmesi			toz, gürültü veya aşırı ışık nedeniyle			ΣCs	%
	Cs1	Cs2	Cs3	Cs4	Cs5	Cs6	Cs7	Cs8	Cs9	Cs10	Cs11	Cs12		
A 1	yüksekten			hareketsiz bir nesne ile			elektrik çarpması veya boğulma			patlama veya yangın			Rj	Rj%
A 2	üzerine parça düşmesi			hareketli bir nesne ile									Rn	Rn%
A 3													Rm	
A 4													Rm%	
A 5													ΣR	
Risk	ΣCs	Ri												
%	Ri%													

* A: Çalışma alanı, C: Sonuç, R: Risk

3. BİR MEMER OCAĞI ÖRNEĞİ

Aşağıda, skor tablolarının kullanılması, Form 1 in doldurulması ve 2 ve 3 no lu formların oluşturulması konusunun daha iyi anlaşılması için, varsayımsal bir mermer ocağının risk analizi özetlenmiştir.

Mermer ocakları genel olarak, Ocak İçi Yollar (A1), Temizlik ve Dekapaj Alanları (A2), Üretim ve Ebatlama Bölgeleri (A3), Ocak Sınırları (A4), Basamaklar (A5), Pasa Döküm ve Blok Stok Sahaları (A6) ve Depo ve Tesisler (A7) olarak 7 ana bölgede incelenebilir (Ersoy ve Yeşilkaya 2016). Bunlardan üretim ve ebatlama bölgelerinin seçildiği ve;

- İki ayrı noktada elmas telle kesme ve üç ayrı noktada elmas telle sayalama (ebatlama) yapıldığı,
- Bölgelerin tamamında toz, gürültü ve zeminde çamur problemi olduğu,
- Beş çalışma bölgesinden ikisinde makina çevresinin güvenlik şeridi ile emniyete alındığı, uyarı tabelalarının bulunduğu,
- Bölgelerden birinde, makinanın eski olduğu, enerji tesisatının (pano ve elektrik kabloları gibi) eski ve yıpranmış olduğu,
- Çalışan beş makina operatöründen ikisinin baret, toz maskesi, kulaklık, çelik burunlu ayakkabı, eldiven gibi

kişisel koruyucu donanım kullandığı, varsayıldığında Form 1 şu şekilde doldurulur.

F1 satırındaki ergonomik faktörler bölümü için, ortamdaki toz, gürültü ve çamur yüzünden Çizelge 2 ye göre 4 hata puanı verilmesi gerekir. Ancak gürültü probleminin kesme makinasından kaynaklandığı ve çözüm için yapılabilecek işlem olmaması yüzünden 3 puanın daha uygun olduğu düşünülmüştür. Toz ve çamur problemleri operasyon sırasında giderilebilecek olduğu, kişisel koruyucu donanım kullanımının (baret, maske vb.) gereği gibi yapılmadığı ve makina operatörünün sorumluluğunda olduğu için hata puanının tamamı işçi hatası (Fw) olarak kaydedilmiştir.

F2 satırı, temizlik ve düzen konusu ile ilgilidir. Arazi şartlarındaki temizlik ve düzen standardıyla diğer çalışma alanlarındaki (fabrika ortamı) standartlar farklıdır. Bu yüzden F2 satırı boş geçilmiştir.

F3 satırı için inceleme yapıldığında, gruptaki beş çalışma bölgesinden 2 sinde görsel ve işitsel uyarıcıların (tabela gibi) kullanıldığı görülmektedir. Bu önlemler öncelikle yönetim kademesindeki çalışanları ilgilendirmesinden ve uygulamanın tamamen yapılmamasından dolayı Çizelge 2 ye göre 3 hata puanı yönetici bölümüne kaydedilmiştir.

F4 satırı makina güvenliği ile ilgili olup makinalar kendi yapması gereken işlerde

kullanıldığından dolayı pas geçilmiştir. Bu kısma “0” puan da verilebilir.

F5 satırı için beş makinadan birinin eski olması ve bu konunun tamamen işveren sorumluluğunda olması yüzünden 1 puan verilmiştir.

F6 satırı da F5 e paralel olarak 1 hata puanı ile değerlendirilmiştir.

Eğitim ve deneyim, psikolojik durum ve yönetim hatalarıyla ilgili veri bulunmamasından dolayı F7, F8 ve F9 bölümleri ihmal edilmiştir.

Görüldüğü üzere A3 grubu çalışma bölgeleri için F1, F3, F5 ve F6 satırlarında hatalar tespit edilmiştir. Analizin ikinci aşamasında bu hatalardan kaynaklı oluşabilecek kaza ve hastalıklar değerlendirilir. Değerlendirmede Çizelge 3 de verilen sonuç puan çizelgesi kullanılır.

F1 satırı için çamur varlığından dolayı kayarak düşme (C1), yine aynı nedenden dolayı elektrik çarpması (C8), toz ve gürültü nedeniyle meslek hastalığı (C10) problemleri doğabilir. Bunlardan C1 için Çizelge 3 e göre, olma olasılığı “Belki, zaman zaman” ve etkisi için “Hafif” seçenekleri tercih edildiğinde sonuç puanının 1 olduğu görülür. C8 için ise “Belki, zaman zaman” ve “Çok şiddetli” seçeneklerinin kesişim noktası 3, C10 için de “Kesinlikle, sık sık” ve “Hafif” seçeneklerinin kesişim noktası 2 puan olarak değerlendirilmesi uygun görülmektedir.

Aynı şekilde F3 satırında belirtilen hatanın C1, C7, C8 ve C10 da verilen sonuçları doğuracağı düşünülmektedir. Buna göre Çizelge 3 e göre C1 için 1, C7 ve C8 için 2 (Mümkün değil-Çok şiddetli), C10 için 2 puan verilmiştir.

Hata F5 da C7 ve C8 sonuçları doğuracağı tahmin edilerek her iki sonuç için 2 şer puan uygun görülmüştür. Buna paralel olarak hata

F6 için de 2 şer puanlık C7 ve C8 inin yanı sıra C1 sonucunun da çok nadir olarak gerçekleşebileceği ve etkisinin az olacağı ön görülmüş 1 puan olarak değerlendirilmiştir.

İşlemin üçüncü aşaması hesaplamalardır. Bu aşamada hata skoru hata puanı ile her bir sonuç puanını çarpımları toplamıdır. Bu değer en son sütunda ilgili hücreye yazılır. Sonuç skoru ise hata puanları ile sonuç puanlarının çarpımları toplamıdır. Bu değer de en alt satırda ilgili hücreye yazılır. Buna göre F1 hata skoru 18, F3 hata skoru 21, F5 hata skoru 4 ve F6 hata skoru 5 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde C1 sonuç skorunun 7, C7 sonuç skorunun 10, C8 sonuç skorunun 19 ve C10 sonuç skorunun 12 olduğu görülmektedir. A3 çalışma bölgesinin toplam risk skoru da 48 olarak hesaplanmıştır.

A3 bölgesi ile ilgili örnek Form 1 Çizelge 6 da verilmiştir.

Çizelge 6 ya göre, 21 puanla en önemli eksikliğin “Uyarı işaretleri ve engelleyiciler” ile ilgili olduğu bunu ergonomik faktörlerin izlediği söylenebilir. Ayrıca çalışma bölgesinde yaşanması en muhtemel ve etkili iş sağlığı ve güvenliği problemlerinin sırasıyla “Elektrik çarpması”, Toz ve gürültü kaynaklı meslek hastalığı”, “işçinin bir yerinin delinmesi ya da kesilmesi” ve “Kayarak ya da takılarak düşme” olduğu şeklinde yorumlanabilir. “0” skor değerindeki F ve C değerleri için risk olmadığını söylemek yanlış olur. Bu konular o anki imkânlar çerçevesinde bir önlem alternatifi olmadığı ya da riskin kabul edilebilir seviyede olduğu anlamını taşımaktadır. Gerek teknolojik gerekse işletme şartlarının değişmesi durumunda tekrar değerlendirilmelidir.

Çizelge 6 Form 1 in doldurulması ve değerlendirilmesi

Form 1	A 3	Sonuçlar (C)			Düşme			Sıkışma, çarpışma			Delinme, kesilme, yanma, şok			Hastalanma			Hata skoru (Fs)
Hatalar (F)	F w	F e	Fw+F e	C 1	C 2	C 3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C1 0	C1 1	C1 2	FixΣCij	
Çevre	F1 F2 F3	3 0	0 3	3 3	1 1						3 2		2 2			18 21	
Makina güvenliği	F4 F5 F6	0 0	1 1	1 1						2 2	2 2					4 5	
İnsan davranışlar	F7 F8 F9																
Sonuç skoru (Cs)		Σ(FixCij)			7						10		19		12		48

Analizin sonraki aşamasında, tesisin belirlenen tüm çalışma bölgeleri için Form 1 doldurulur (Ek 1), her bir formun hata skoru sütunları ve sonuç skoru satırları Form 2 (Çizelge 4) ve Form 3 (Çizelge 5) üzerine taşınır.

Yapılan örnek çalışma için hazırlanan Form 2, Çizelge 7 de ve Form 3, Çizelge 8 de verilmiştir.

Çizelge 7 de verilen Form 2 incelendiğinde en büyük kaza riskinin 54 puanla (%23) basamaklar bölgesinde (A5) olduğu görülmektedir. Yine tesiste en çok 98 puanla (%41) uyarı ve önleme işaretleri konusunda ihmaller olduğu görülmektedir. Çizelge 8 de verilen Form 3 incelendiğinde de yine A5 bölgesinin 54 puanla (%23) en riskli bölge olduğu ve bu alanda 24 puanla yüksekten düşme şeklindeki kazaların tehlikeli olduğu söylenebilir. Tesisin tamamı için ise en riskli durumun 52 puanla (%22) hareketli bir nesne ile çarpışma kazasının olduğu bu kazanın A1 (ocak içi yollar) bölgesinde gerçekleşebileceği şeklinde yorumlanabilir.

Form 2 ve Form 3 ün değerlendirilmesi yüksek risk skorundan en düşük risk skoruna kadar yukarıdaki gibi tamamlanır.

Faaliyetin son aşaması iyileştirme programının hazırlanması ve değerlendirme formlarının güncellenmesidir. Bu şamada iki yol izlenebilir. Birincisi eksikliklerin yani hataların, ikincisi ise sonuçların yani kaza riskinin en aza indirilmesidir.

Birinci yolun seçilmesi durumunda öncelikle Form 2 den yararlanır. Form 2 deki en büyük hata skorundan itibaren

çalışma bölgelerinde belirlenen hatalar giderilir. İkinci yolun seçilmesi durumunda ise öncelikle Form 3 den yararlanır ve aynı şekilde form üzerindeki en yüksek sonuç skorundan itibaren çalışma bölgelerindeki hatalar giderilir. Son olarak Form 1 ler güncellenir, yeni Form 2 ve Form 3 ler oluşturularak tekrar değerlendirilir ve kazanım oranı belirlenir.

4. SONUÇLAR

Bu bildiriye, iş kazalarının belirlenmesine ve önlenmesine yönelik yeni bir risk analizi ve izleme yönteminin tanıtımı yapılmış olup önerilen yöntem varsayımsal bir mermer ocağı için uygulanmıştır.

Buna göre yöntemin genel özellikleri;

- Basit, kolay ve çabuk uygulanabilir olması,
- Yapılan işin özelliklerine göre esnek (değiştirilebilir) olması,
- Tesis genelindeki eksiklikler ve bunların iş kazalarına etkilerinin belirlenebilmesi,
- Hangi tür kazanın yaşanabileceği ve etkisinin belirlenebilmesi,
- Tesisteki muhtemel kaza noktalarının belirlenebilmesi ve
- Tüm bu çıktıların tek bir çalışma ile elde edilebilmesidir.

Bunun yanında, analizi gerçekleştirecek kişilerin uzman olması, gerek iş güvenliği gerekse tesiste yapılan çalışma ile ilgili bilgi sahibi olması, tesisin geçmişine yönelik kayıtların bulunması ve kaza, nedenleri ve sonuçlarıyla ilgili veriye ihtiyaç duyulması gibi handikapları da bulunmaktadır.

Ancak çalışma bölgelerindeki sorumlu kişilere kısa bir eğitim verildikten sonra, Form 1 olarak adlandırılan izleme formlarının çalışanlar tarafından doldurulması ve yöneticiler tarafından değerlendirilmesi sonucunda, her mesai başlangıcında tesisteki eksikliklerin, muhtemel kazaların ve etkilerinin belirlenebilmesi söz konusu olacak ve gerekli tedbirler gün içerisinde alınabilecektir. Böylece tesiste her gün yeni bir risk analizi ve iyileştirme yapılabilecektir.

Yöntem iş kazalarını pratikte sonlandırmaya da, basit, kolay ve hızlı bir yöntem olması nedeniyle öne çıkmakta ve iş kazalarının en aza indirilmesinde etkin rol oynayacağı düşünülmektedir. Bu yüzden yöntemin farklı iş kollarında denenerek geliştirilmesi ve yapılan işin özelliklerine göre daha spesifik hale getirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 7 Örnek çalışma için doldurulmuş Form 2

Form 2	Hatalar (F)		A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	Risk	
										ΣF_s	%
Çevre etkileri	Ergonomik faktörler	Fs1	0	0	18	0	0	0	6	24	10
	Temizlik ve düzen	Fs2	20	6	0	0	14	9	14	63	26
	Uyarı ve önleme işaretleri	Fs3	4	6	21	16	28	9	14	98	41
	Uygunluk ve kullanım	Fs4	12	0	0	0	12	0	0	24	10
Makina güvenliği	Model ve bakım	Fs5	0	0	4	0	0	0	0	4	2
	Enerji ve tesisatı	Fs6	0	6	5	0	10	4	25	11	
İnsan davranışları	Eğitim ve deneyim	Fs7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Psikolojik durum	Fs8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Yönetim	Fs9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Risk	ΣF_s	36	18	48	16	54	28	38		238
		%	15	8	20	7	23	12	16		

Çizelge 8 Örnek çalışma için doldurulmuş Form 3

Form 3	Düşme			Sıkışma veya çarpışma			Delinme, kesilme, yanma veya şok			Hastalanma			Risk	
	Sonuçlar (C)	kayarak veya takılarak yüksekte	üzere parça düşmesi	iki nesne arasında	hareketsiz bir nesne ile	hareketli bir nesne ile	bir nesnenin delmesi veya kesmesi	elektrik çarpması veya boğulma	patlama veya yangın	toz, gürültü veya aşırı ışık nedeniyle	kas ve iskelet sistemini zorlayan veya tekrarlı hareketler nedeniyle	aşırı sıcak, soğuk veya kimyasallar nedeniyle	ΣC_s	%
A 1	0	0	0	0	0	24	0	0	12	0	0	36	15	
A 2	0	0	0	0	0	15	0	3	0	0	0	18	8	
A 3	7	0	0	0	0	0	10	19	0	12	0	48	20	
A 4	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	7	
A 5	18	24	12	0	0	0	0	0	0	0	0	54	23	
A 6	0	0	0	12	4	9	0	3	0	0	0	28	12	
A 7	8	0	8	4	4	4	0	0	4	0	3	38	16	
Risk	ΣC_s	33	40	20	16	8	52	10	25	4	24	3		238
	%	14	17	8	7	3	22	4	11	2	10	1		

KAYNAKLAR

Bäbuğ G-B., Moraru R.-I., Cioca L.-I., 2011, Kinney-Type Methods: Useful or Harmful Tools in The Risk Assessment and Management Process?,

International Conference on Manufacturing Science and Education, MSE 2011, Sibiu-Romania, 1-4
 Chan A and Ng A. 2012. The guessing of mine safety signs meaning: Effects of user factors and

- cognitive sign features. *Inter J Occup Safety Ergon* 18(2):195–208
- EN 12464–1 2011. Light and lighting—Lighting of work places—Part 1: Indoor work places, European Standard, 43 p.
- Ericson C. A., 1999, Fult Tree Analysis-A History, The Proceedings of The 17th International System Safety Conference, USA, August 16-21, www.fault-tree.net, 1-9
- Ersoy M. and Yesilkaya L., 2016. Comparison of the occupational safety applications in marble quarries of Carrara (Italy) and Iscehisar (Turkey) by using Elmeri method, *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 23(1), 29-63, DOI:10.1080/17457300.2014.945464
- Ersoy M., 2015, A Proposal on Occupational Accident Risk Analysis: A Case Study of a Marble Factory, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 21:8, 2099-2125, DOI:10.1080/10807039.2015.1017878
- Ersoy M., Eleren A ve Şimşek Ş., 2009, Work Safety and Health Based Process Improvement Analysis by Using FMEA and Application in Marble Quarry Works, *The Journal of The Chamber of Mining Engineers of Turkey*, 48(3), 19-32 (Tr)
- Gülçubuk A. 1996. A study on the evaluation of ergonomic working conditions of the industrial enterprises, (Unpublished doctoral dissertation), Dokuz Eylul University Institute of Science and Technology, Izmir (Tr)
- Habibi E., Zare M., Barkhordari A., Mirmohammadi S.J., Halvani GhH., 2008, Application of a Hazard and Operability Study Method to Hazard Evaluation of a Chemical Unit of the Power Station, *J. Res. Health Sci*, Vol. 8, No.2, 2008, pp. 13-20
- Laitinen, H., Rasa, P. L., Räsänen, T., Lankinen, T. & Nykyri, E., 1999, ELMERI observation method for predicting the accident rate and the absence due to sick leaves, *American Journal of Industrial Medicine*, 36(1), 86-88.
- Mullai A., 2006, Risk Management System–Risk Assessment Frameworks and Techniques, DaGoB publication series 5:2006, ISBN 951-564-393-7, 171 p.
- Özkılıç Ö., 2005, Occupational Health and Safety Management Systems and Risk Assessment Methodologies, Confederation of Employers' Unions of Turkey, 219 p. (Tr)
- Sun R., Chen Y., Liu X., Peng T., Liu L., 2011, A Method of Analysis Integrating HCR and ETA Modeling for Determining Risks Associated with Inadequate Flight Separation Events, *Journal of Aviation Technology and Engineering*, 19–27

Ek 1 İnceleme sonuçlarının Form 1 üzerinde gösterilmesi

A1	Fw	Fe	Fw+Fe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	FixΣCij
F1			0													0
F2	0	4	4						3				2			20
F3	0	2	2						2							4
F4	2	2	4						4				2			24
F5			0													0
F6			0													0
F7			0													0
F8			0													0
F9			0													0
			Σ(FixCij)	0	0	0	0	0	32	0	0	0	16	0	0	48

A2	Fw	Fe	Fw+Fe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	FixΣCij
F1			0													0
F2	0	2	2						3							6
F3	0	2	2						3							6
F4			0													0
F5			0													0
F6	1	0	1						3		3					6
F7			0													0
F8			0													0
F9			0													0
			Σ(FixCij)	0	0	0	0	0	15	0	3	0	0	0	0	18

A3	Fw	Fe	Fw+Fe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	FixΣCij
F1	3	0	3	1							3		2			18
F2			0													0
F3	0	3	3	1						2	2		2			21
F4			0													0
F5	0	1	1							2	2					4
F6	0	1	1	1						2	2					5
F7			0													0
F8			0													0
F9			0													0
			Σ(FixCij)	7	0	0	0	0	0	10	19	0	12	0	0	48

A4	Fw	Fe	Fw+Fe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	FixΣCij
F1			0													0
F2			0													0
F3	0	4	4		4											16
F4			0													0
F5			0													0
F6			0													0
F7			0													0
F8			0													0
F9			0													0
			Σ(FixCij)	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16

Ek 1 devam ediyor

A5	Fw	Fe	Fw+Fe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	FixΣCij
F1			0													0
F2	2	0	2	3	4											14
F3	2	2	4	3	4											28
F4	0	4	4			3										12
F5			0													0
F6			0													0
F7			0													0
F8			0													0
F9			0													0
			Σ(FixCij)	18	24	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54

A6	Fw	Fe	Fw+Fe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	FixΣCij
F1			0													0
F2	0	1	1				4	2	3							9
F3	0	1	1				4	2	3							9
F4			0													0
F5			0													0
F6	1	0	1				4		3		3					10
F7			0													0
F8			0													0
F9			0													0
			Σ(FixCij)	0	0	0	12	4	9	0	3	0	0	0	0	28

A7	Fw	Fe	Fw+Fe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	FixΣCij
F1	0	1	1											3	3	6
F2	2	0	2	2		2	1	1	1							14
F3	0	2	2	2		2	1	1	1							14
F4			0													0
F5			0													0
F6	0	1	1									4				4
F7			0													0
F8			0													0
F9			0													0
			Σ(FixCij)	8	0	8	4	4	4	0	0	4	0	3	3	38

Açık Ocak İşletmelerinde İş Güvenliği Uygulaması: Örnek Ocak Çalışması

Applications of Occupational Safety at Open Pit Mining: a Case Study

R. E. Şafak

Maden Mühendisi - C sınıfı İş Güvenliği Uzmanı, Eskişehir

C. Şensöğüt, Y.Kasap

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Dünya nüfusuna paralel olarak, insanoğlunun daha kaliteli yaşama olan talebinin artması, hammadde ve mamul maddelerin üretiminin artmasına neden olmuştur. Bilindiği üzere pek çok hammadde yeraltı ve yerüstü kaynaklarının madencilik aktiviteleri ile kazanımı sonucu elde edilmektedir. Üretimin sayısal olarak büyük bir kısmı, açık işletme madenciliği ile gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler sırasında ise iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli risk ve tehlikeler ile karşı karşıya kalınmaktadır. İşin yürütülmesi sırasında kaza öncesi önlem alınmasına yönelik yaklaşımlar ortaya konularak çalışan işçilerin kazalanma riskinin minimuma indirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Manyezit A.Ş (Eskişehir)'ye bağlı açık ocak işletmesindeki madencilik faaliyetleri Çeklist Metodu ve L Tipi Risk Değerlendirme Karar Matrisi Yöntemi ile irdelenmiş, risk teşkil eden durumların kabul edilebilir seviyeye indirilebilmesi için alınması gereken önlemler belirlenmiştir.

ABSTRACT The increase in demand for a more qualified life together with an increase parallel with world population, has caused an increase in raw material and goods. As known, most of the raw materials are obtained by underground and surface mining activities. The large parts of production are carried out by open pit mining. During this process, it is possible to face hazards and high risks in terms of occupational health and safety. The accident risks of the labours should be reduced to a minimum level by proactive approaches.

In this study, drilling – blasting and other mining activities such as loading and carrying are examined by the use of the check list and the L type matrix risk assessment methods in an opencast mining which is a part of Manyezit A.Ş (Eskişehir). All the precautions that need to be taken are specified and results are given in order to reduce the risk posing activities to an acceptable level.

1 GİRİŞ

İnsanlığın gelişim sürecinin son yüz yıllarındaki ilerlemesinde madencilik sektörünün önemini yadsımak mümkün değildir. Madencilik sektörünün; diğer sektörlerle kıyaslanması sonucunda, dünyada ve ülkemizde yer altı ve yerüstü işletmelerinde meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıklarının en yüksek olarak görüldüğü ağır ve tehlikeli iş kollarından biri olduğu söylenebilmektedir.

İşkolu	2011		2012		2013	
	İŞ KAZASI SAYISI	OLUŞAN GÜNLER	İŞ KAZASI SAYISI	OLUŞAN GÜNLER	İŞ KAZASI SAYISI	OLUŞAN GÜNLER
05 KEMİR VE İYİTİ ÇIKARTILMASI	9.217	30	8.838	30	11.229	36
07 METAL CEVHER MADENCİLİĞİ	449	18	421	3	2.053	26
08 SAKAR MAMULCU VE TAĞ OCAĞI	359	43	588	17	1.568	38
09 MADENCİLİK DEĞERLENDİRME HİZMETİ	1.19	7	101	3	248	8
MADENCİLİK SEKTÖRÜ	10.303	136	9.948	64	15.086	86
14 İYİTİ METAL SAKAR	5.212	18	4.938	10	13.061	34
25 FABRİKESAL ÜRÜN MADENCİLİĞİ	7.363	73	7.045	25	15.088	33
28 MADEN VE İYİTİ MADENCİLİĞİ	2.213	30	2.213	8	5.113	21
29 MİNERAL KAYA TAĞI VE SAKAR TAĞI	5.433	8	5.796	3	5.213	7
09 SAKAR ÜRÜN İYİTİ MADENCİLİĞİ	480	8	430	3	1.363	7
11 MADEN VE İYİTİ MADENCİLİĞİ VE Çİİ	1.051	21	1.041	14	2.500	23
METAL / MADENİ MADENCİLİK	17.732	140	17.498	60	42.817	127
41 İYİTİ MADENCİLİĞİ	1.835	80	1.811	127	14.286	206
42 İYİTİ MADENCİLİĞİ (SİNGER)	1.718	118	1.848	66	5.917	121
43 ÖZEL İYİTİ MADENCİLİĞİ	3.197	140	2.720	23	8.764	104
İYİTİ MADENCİLİĞİ	7.749	338	6.379	216	29.967	331
01 SAKAR ÜRÜN MADENCİLİĞİ	2.360	180	2.048	13	2.897	287
4 SAKAR ÜRÜN	38.351	1.023	38.175	493	90.767	808
4 SAKAR ÜRÜN GENEL TEK BİRLEŞİM NEM	15%	80%	12%	58%	87%	87%
GENEL TOPLAM	48.327	1.750	34.871	764	181.588	1.360

Şekil 1. Yıllara Göre İş Kazaları İstatistikleri (SGK, 2014)

Son yıllarda ülkemiz maden işletmelerinde meydana gelen iş kazalarının sayısında da artış olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 1). 2008 yılı verilerine göre iş kazalarının ülkemize getirdiği maliyet yaklaşık olarak 4 milyar 875 milyon liradır. Oysaki alınabilecek iş güvenliği önlemleri ile kazaların önüne geçilerek hem yaşanan ölümlerin azalması sağlanabilecek hem de maliyetlerin yaklaşık yüzde 98'ine katlanmak zorunda kalınmayacaktır. (TMMOB, 2010)

Özellikle yeraltı madenciliğinde pek çok çalışma disiplini birlikte uygulanmaktadır. Üretim için yeraltında kazı, tahkimat, ocaklardaki suyun tahliyesi, nakliyat, ulaşım v.b. ihtiyaç ve tesisler iş güvenliği açısından önemlidir. Bu süreçte karşılaşılan olumsuzluklar iş kazalarına neden olmaktadır. Yeraltı çalışmalarında meydana gelen iş kazaları genellikle grizu patlamaları, toz patlamaları, göçükler, toprak kaymaları, ocak yangınları, nakliyat sırasındaki kazalar, ocak gazlarının yol açtığı zehirlenme, su baskını ve diğer risklerden kaynaklanmaktadır.

Yerüstü madenciliği, yer altı madenciliğine göre daha güvenilir çalışma

ortamına sahip gibi görünse de uygun yükseklikte kademe / basamak oluşturulmaması, patlatma işleri gibi çalışmalarda iş ekipmanlarının güvenli kullanılmaması, su geliri, heyelan ve toprak kayması gibi sebepler meydana gelen iş kazalarının önemli risk kaynaklarıdır (Kasap ve Subaşı, 2011).

Bu çalışmada da açık ocak maden işletmelerinde iş kazası riskini en aza indirmek için iş güvenliği uygulaması alanında gereken tedbirlerin alınmasına dikkat çekebilmek amacıyla risk değerlendirmesi yapılmıştır. Analizlerde Çeklist Metodu ve L Tipi Risk Değerlendirme Karar Matrisi Yönteminden yararlanılmış ve risk teşkil eden durumların kabul edilebilir seviyeye indirilebilmesi için alınması gereken önlemler belirlenmiştir

2 İŞLETMENİN TANITILMASI

Manyezit A.Ş. 1963 yılında Veitscher Manyezit AG, (Avusturya) öncülüğünde kurulmuştur. İşletme dünyada isim yapmış refrakter grubu olan RHI AG firması bünyesinde işletilmeye devam edilmektedir.

Eskişehir ve Kütahya bölgesinde cevher rezervleri bulunmaktadır. İşletmeye ait cevher üretiminin çoğu Avrupa pazarına gitmektedir. İşletmede yüksek rezerv ve tenörlerde kaliteli manyezit üretimi gerçekleştirilmektedir.

Eskişehir'e 30-35 km uzaklıkta olan işletme, Nemli köyünün kuzeybatısında yer almaktadır. Şirketin; Dutluca, Koçhan, Beylikova, Çanakkıran, Kömürlük ve Günaydın'da 6 adet ocağı mevcuttur ve şirkette direkt ve dolaylı (taşeron çalışanlar ile birlikte) 700 kişi çalışmaktadır. Bu anlamda şirket, çalışanlarının fazla olmasından dolayı istihdama önemli katkıda bulunmakta ve ülkemiz ihracatına önemli katkılar sağlamaktadır.

Çalışmaya konu olan Dutluca İşletmesinde sedimanter kaya kütlelerinde sıkça manyezite rastlanmaktadır. Bu işletmede manyezit cevheri küçük parçalar halinde ve çok sayıda bulunmaktadır. Yan kayaç olan serpantin kayalarının, karbonatlı sularla alterasyonu sonucunda oluştuğu bilinmektedir. Aynı zamanda yüksek yoğunluklu, düşük gözenekli sinter manyezit de oluşabilmektedir.

İşletmede, açık ocak işletmeciliği yöntemine dayalı cevher kazanımı gerçekleştirilmektedir. Yüzeysel açık işletme metotlarından yararlanılarak cevher

çıkarılmakta ve cevher ayıklama tesislerinde yüksek kalitede üretim yapılmaya çalışılmaktadır.

3 RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

3.1 Çeklist Metodu

Bu risk değerlendirme metoduna göre faaliyette bulunan bölgelerde, iş sağlığı ve güvenliği kurallarına uyulup uyulmadığı ile alakalı sorular ve risk teşkil edebilecek durumların ortaya çıkarılabileceği problemlere ulaşmaya yönelik sorular oluşturulmaktadır. Bu sorulara evet/hayır şeklinde cevaplar verilerek devamında açıklama yapılmaya çalışılmakta ve oluşturulan sorulara yanıtlar aranmaktadır.

Bir kontrol listesi, tehlike ve riskleri belirlemek veya kontrollerin etkinliğini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bir ürün, süreç veya sistem kullanım döngüsünün her aşamasında uygulanabilmektedir. Ayrıca diğer risk değerlendirme tekniklerinin bir parçası olarak da kullanılabilir. Fakat uygulanmış olan ve yeni problemleri belirleyen daha yaratıcı bir risk değerlendirme tekniği sonrasında gizli kalabilecek durumları kontrol etmek için uygulandığında daha kullanışlı olmaktadır.

Konu ile ilgili ön bilgi ve uzmanlık gerektirmektedir, ancak bu şekilde hazırlanan kontrol listelerinin geçerliliği kabul edilebilir veya geliştirilebilir olmaktadır (Özkılıç, 2014).

Uygulama yaparken aşağıdaki hususlara dikkat etmek gerekmektedir;

- Etkinlik kapsamı tanımlanmalıdır, (elektrik, mekanik vb.),
- Bir kontrol listesi, etki alanını yeterince kapsayacak şekilde hazırlanmış olmalıdır,
- Kontrol listelerinin dikkatlice seçilmesi gerekmektedir. Örneğin standart kontrollerin bir kontrol listesi yeni tehlikeleri veya riskleri belirlemek için kullanılamaz,
- Uzmanların kontrol listelerini hazırlarken, uygulayacakları adımları, süreç veya sistemin her bir unsurunu düşünmeleri ve kontrol listeleri üzerinde kritik kontrol öğelerinin mevcut olup olmadığını değerlendirmeleri gerekmektedir. (Özkılıç 2014).

Eğer risk teşkil edebilecek durumlar varsa bu tehlikeden kaynaklı riskleri önlemeye dönük çalışmalara önem verilmelidir. Bu metot uygulandığında ve işletmede hazır halde bulundurulduğunda kolaylıkla oluşabilecek risklerin neler olabileceğine dönük risk değerlendirmesi incelenebilecektir.

Bu şekilde işletme bünyesindeki tehlikelerden kaynaklı risk teşkil edebilecek durumların neler olabileceğine yönelik değerlendirme sonuçlarına ulaşıp gerekli önlemler alınabilecektir.

Manyezit A.Ş.'ye bağlı Dutluca işletmesinin çalışma sistemine uygulanmış olan Çeklist metodu ile risk değerlendirme kontrol listesi Çizelge 1'de verilmiştir. İşletmede kullanılan Çeklist metodu ile risk değerlendirmesi, oluşabilecek ve öngörülen tehlike ve risklerin belirlenebilmesi, periyodik aralıklarla kontrollerin yapılabilmesi amacıyla uygulanmaktadır.

3.2 L Tipi Risk Değerlendirme Karar Matrisi Yöntemi

Bu yöntemde 5x5 matris diyagramı oluşturularak sebep-sonuç ilişkilerine dayalı olarak risk değerlendirilme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bir olayın gerçekleşme ihtimali olayın ortaya çıkma sıklığına göre belirlenmektedir. Risk değerlendirmesi yapılan işletmelerde bir kaza olayının gerçekleşme ihtimalini göstermek için verilen ihtimal skalasına göre ihtimal basamak derecesi belirlenmektedir.

$$\text{Risk} = \text{İhtimal} \times \text{Zararın Şiddeti} \quad (1)$$

İHTİMAL	ORTAYA ÇIKMA OLASILIĞI İÇİN DEĞERLENDİRME BASAMAKLARI
Çok Küçük (1)	Hemen hemen hiç
Küçük (2)	Çok az (yılda bir kez), sadece anormal durumlarda
Orta (3)	Az (yılda birkaç kez)
Yüksek (4)	Sıklıkla (ayda bir)
Çok Yüksek (5)	Çok sıklıkla (haftada bir, her gün), normal çalışma şartlarında

Şekil 2. Bir Olayın Gerçekleşme İhtimali (Özkılıç, 2005).

Çizelge 1 Dutluca İşletmesinin Çeklist Metodu ile Risk Değerlendirmesi Örneği

	Organizasyon, Gözetim ve Genel Çalışma Şartları	Evet	Hayır
1	Ocak Çalışma Yönergesi mevcut mu? Çalışanların ve müteahhitlerin bilgilendirilme işlemi gerçekleştirilmiş	x	
2	Çalışan personele iş sağlığı ve güvenliği, kişisel koruyucu kullanımı ile ilgili eğitimler veriliyor mu?	x	
3	Personele gerekli temel ilk yardım kursu ve sertifikası aldırılmış mı? Yeterli ilk yardım personeli var mı?	x	
4	Personele kişisel koruyucu donanım verilmiş mi?	x	
5	İşyerinde acil durumlar için uygun araç var mı?	x	
6	Toz oluşumunu önlemeye karşı tedbir alınmış mı?	x	
7	Uyarı levhaları ve güvenlik işaretleri var mı?	x	
8	İşletme çalışma sahası, kamera güvenlik sistemi kayıtları ile gözlemlenmekte midir ?	x	
9	Patlatma yapılacak alanda herhangi bir personel telefonu veya telsizi ile kuralları ihlal etmekte midir?		x
10	Ocaaktaki ayna yükseklikleri uygun mu? Kademe oluşturulmuş mu?	x	
11	Kademe düzlükleri iş makinelerinin rahatlıkla ve güvenli manevra yapabilmelerine uygun genişlikte mi?	x	
12	Aynada çatlak, kavlak kontrolü yapılıyor mu?	x	
13	Gece çalışmaları için aydınlatma yapılmış mı?	x	
14	Ocak içi yolda eğitim uygun mu?	x	
15	Drenaj havuzunun etrafında tel örgü ve uyarı levhaları var mı?	x	
16	Vardiyalarda ocak daimi mühendisi tarafından güvenlik denetimi yapılıyor mu?	x	
17	Ocak yolları yağış anında oluşabilecek kayganlık tehlikesi durumuna karşı kanallarla korunuyor mu?	x	
18	Ocak içleri ve çevresi yollar genel kullanıma uygun, temiz ve tehlike yaratmayacak şekilde mi?	x	
19	Delme patlatma işleri, daimi mühendisler ve teknik sorumluların planlamasında ve sorumluluğunda mı?	x	
20	Delme ve patlatma raporu tam, okunaklı ve sonuç-değerlendirme bölümleri oluşan veya oluşabilecek tehlikeleri de içerecek şekilde doldurulup, imza altına alınıp dosyada muhafaza ediliyor mu?	x	
21	Delme paterni daimi mühendis tarafından belirlenip, delme işi sonunda delikler kontrol ediliyor mu?	x	
22	Patlayıcı deposundan alınan patlayıcı maddeler patlayıcı talimatnamesine uygun alınıp, uygun taşınıyor mu?	x	
23	Patlatma sahası, bayraklar ve ikaz levhaları ile kontrol altına alınıyor mu?	x	
24	Barutçu, yardımcıları ve görevli teknik personel haricinde kimse patlatma alanına giriyor mu?		x
25	Patlatma sahasında görevli olanlar cep telefonu, telsiz, alev çıkarıcı herhangi bir şey, sinyal alıp-veren bir		x
26	Yağmurlu ve fırtınalı havalarda patlatma yapılıyor mu?		x
27	Ateşleme mesafesi uygun ve emniyetli bir mesafede mi?	x	
28	İş makineleri ve ocak çalışmalarında kullanılan araç-gereç ateşlemeden önce tesir sahası dışında mı?	x	
29	Patlatma yapılacağı zaman etki alanında kimse bulunuyor mu?		x
30	Her şeyi ile hazır olan alan, jandarma ile yapılan anlaşma izinleri çerçevesinde 2 dakika siren çaldıktan sonra daimi mühendisin kırmızı flama işareti ile barutçu tarafından patlatılıyor mu ?	x	
31	Patlatma sahası, patlatma yapıldıktan sonra mühendis ve barutçu tarafından kontrol ediliyor mu?	x	
32	Patlatma işleminde elektrikli kapsül kullanılıyor mu?	x	
33	Deliklerde kullanılan kapsüller non-elektrik kapsül mü?	x	
34	Operatörler iş makineleri için belirlenmiş hız limitlerine uygun çalışıyor mu?	x	
35	İş makinelerinde yangın söndürme tüpleri bulunduruluyor mu?	x	
36	İş makinası operatörlerinin ehliyetleri var mı?	x	
37	Vardiyası biten iş makineleri vardiya bitiminde uygun alanlara çekiliyor mu?	x	
38	İşletmedeki iş makineleri, sabit veya mobil tesisler, yardımcı cihaz ve makineler (tanklar, depolar, kaynak mak. oksijen, tüp, vs.) servis araçları bakımlı, emniyetli ve periyodik kontrollerinin yapılmış olduğu, ikaz ve	x	
39	İş makineleri sadece kabiliyetleri ve görevlendirildiği işlerde (kazı, delik delme, yükleme, kırma, v.s.) kullanılmakta olup personel veya malzeme taşıma gibi işlerde de kullanılıyor mu?		x
40	İş makinası operatörleri duraklamalarda uygun ortamlarda mı dinleniyor?	x	
41	İş makinası keçesi yükleyken askıda bekletiliyor mu?		x
42	Çalışma alanlarında yükleme yapılacak kamyon haricinde iş makinası, kamyon ve insan bulunuyor mu?		x
43	Delici makine operatörü koruyucu malzeme kullanıyor mu?	x	
44	Delici makine operatör kabini gürültüye karşı yalıtımlı mı?	x	
45	Yükleme anında kamyonu inip binme yapılıyor mu?		x
46	Trafik akışında yüklü kamyonlara öncelik tanınıyor mu?	x	
47	Sisli, puslu.. Vs havalarda farlar açılıp çalışılıyor mu?	x	
48	Kamyon şoförleri kamyonlar için belirlenmiş hız limitlerine uyuyorlar mı?		x
49	Mesai aralarında iş makineleri ve kamyonlar, patlatma sahasından uzak emniyetli bir yere park ediliyor mu?	x	
50	Herhangi bir kademede çalışma planlandığında ocaкта görevli daimi mühendisler, teknik sorumlular o alanı jeolojik, fiziksel olarak inceleyip gerekli önlemleri (kavlak, fay zonu, sütre, vol, v.s.) alıyorlar mı?	x	
51	Çalışması bitmiş kademeler kavlaklardan arındırılıp emniyete alınıyor mu?	x	
52	Kullanılan patlayıcı malzeme artıkları (anfo çuvalı) gibi işletme bünyesinde imha edilmekte midir?	x	

İşyerinde bir kaza olayının gerçekleşme ihtimalini göstermek için Şekil 2'de verilen ihtimal skalası kullanılmaktadır.

SONUÇ		DERECELENDİRME
Çok Hafif	(1)	İş saati kaybı yok, ilkyardım gerektiren
Hafif	(2)	İş günü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi ilk yardım
Orta	(3)	Hafif yaralanma, yatarak tedavi gerekir
Ciddi	(4)	Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı
Çok Ciddi	(5)	Ölüm, sürekli iş göremezlik

Şekil 3. Bir Olayın Gerçekleştiği Takdirde Şiddeti (Özkılıç, 2005).

Muhtemel bir olay sonrası beklenen zarar veya hasarın derecelendirilmesi için ise Şekil 3'teki skala kullanılmaktadır.

Şekil 2 ve Şekil 3'te verilen ihtimal ve derecelendirme değerleri kullanılarak Şekil 4'teki risk skor matrisi oluşturulmakta ve elde edilen sonuçlar Şekil 5'te verilen tabloya göre değerlendirilmektedir.

Zararın Şiddeti / İhtimal	Çok Hafif (1)	Hafif (2)	Orta (3)	Ciddi (4)	Çok Ciddi (5)
Çok Küçük (1)	1 İhmal Edilebilir	2 İhmal Edilebilir	3 Düşük	4 Düşük	5 Düşük
Küçük (2)	2 İhmal Edilebilir	4 Düşük	6 Düşük	8 Orta	10 Orta
Orta (3)	3 Düşük	6 Düşük	9 Orta	12 Orta	15 Yüksek
Yüksek (4)	4 Düşük	8 Orta	12 Orta	16 Yüksek	20 Yüksek
Çok Yüksek (5)	5 Düşük	10 Orta	15 Yüksek	20 Yüksek	25 Tolere Edilemez

Şekil 4 Risk Skor Matrisi (L Tipi Matris) (Özkılıç, 2005; Önder vd., 2011).

Denklem 1'e göre, risk skoru katlanılamaz ya da önemli riskler kategorisinde bulunuyorsa bu risklerin kabul edilebilir düzeye indirilebilmesi için gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Risk matrisleri, tehlike kaynaklarını veya risk düzeyi doğrultusunda risk müdahalelerini derecelendirmek için kullanılır. Birçok risk saptandığında, söz konusu riskler arasında eleme aracı olarak sonuç / analiz matrisinden faydalanılabilir.

Örneğin; hangi riskin daha fazla veya daha ayrıntılı analize ihtiyaç duyduğu, hangi risklere öncelikli olarak müdahale edilmesi gerektiği veya hangisinin daha üst düzey bir yönetime aktarılması gerektiğinin saptanması için kullanılabilir. Matris kullanımı ile aynı zamanda hangi riskin artık üzerinde durulmaması gerektiği de saptanabilir. Son olarak bu tür bir risk matrisi, matris üzerinde yer aldığı noktaya göre belirli bir riskin genel olarak kabul edilebilir veya kabul edilemez olduğunu belirlemek için de kullanılabilir (Özkılıç, 2014).

SONUÇ	EYLEM
Katlanılamaz Riskler (25)	Belirlenen risk kabul edilebilir bir seviyeye düşürülünceye kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Gerçekleştirilen faaliyetlere rağmen riski düşürmek mümkün olmuyorsa, faaliyet engellenmelidir.
Önemli Riskler (15,16,20)	Belirlenen risk azaltıluncaya kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Risk işin devam etmesi ile ilgiliyse acil önlem alınmalı ve bu önlemler sonucunda faaliyetin devamına karar verilmelidir.
Orta Düzeydeki Riskler (8,9,10,12)	Belirlenen riskleri düşürmek için faaliyetler başlatılmalıdır. Risk azaltma önlemleri zaman alabilir.
Katlanılabilir Riskler (2,3,4,5,6)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ilave kontrol proseslerine ihtiyaç olmayabilir. Ancak mevcut kontroller sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürüldüğü denetlenmelidir.
Önemsiz Riskler (1)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için kontrol prosesleri planlamaya ve gerçekleştirilecek faaliyetlerin kayıtlarını saklamaya gerek olmayabilir.

Şekil 5. Risk Değerlendirmesi Sonucunun Kabul Edilebilirlik Değerleri (Özkılıç, 2005).

Kullanıcı, riskleri derecelendirmek için ilk önce duruma en uygun olan sonuç tanımlayıcısını belirler ve ardından söz konusu sonuçların meydana gelme olasılığını belirler. Bu sayede risk düzeyi, matris üzerinden görülebilir. Birçok risk vakaları, farklı bağlı olasılıklara sahip birçok sonucu beraberinde getirebilir. Genellikle küçük problemler, felaketlerden çok daha yaygındır. Dolayısıyla üzerinde durulması gereken husus; en yaygın sonucu mu, en ciddi sonucu mu yoksa başka kombinasyonları mı derecelendirmek gerektiğidir. Çoğu durumda, en kapsamlı tehditleri içerdikleri ve en çok dikkati

çektikleri için en ciddi sonuçlara odaklanmak uygun olacaktır. Bazı durumlarda da yaygın yaşanan problemleri ve muhtemel olmayan felaketleri birbirinden bağımsız riskler şeklinde derecelendirmek uygun olmayabilir. Burada önemli olan, olayın tüm olasılığından ziyade, seçilen sonuca ilişkin olasılığın kullanılmasıdır. Matris yardımıyla tanımlanan risk düzeyi, riske müdahale edip etmeme konusunda bir karar kuralı ile bağlantılı olabilir (Özkılıç, 2014).

Risk skorlaması sonuçlarına bakılarak riskin kabul edilebilirlik değerleri skalasına göre önlem alınması gerekir gerekmeceği veya acil önlem alınması gereken durumlar kolaylıkla saptanabilir.

Manyezit A.Ş.'ne bağlı Dutluca işletmesine ait olan L Tipi Matris risk değerlendirmesi yöntemi uygulaması işletmede oluşabilecek tehlike ve riskleri belirleyip, tüm bunları minimuma veya sıfıra indirmeyi amaçlayan önlemleri alarak tüm işletmeyi iş sağlığı ve güvenliği açısından korumayı amaçlayan bir çalışmadır. Risk değerlendirmesinden elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2 Kaza nedenlerine göre elde edilen risk skorları

TEHLİKELER	RİSK DERECESESİ
Yüksekten Düşürme/Düşme (Maden sahasında herhangi bir taş düşmesi, devrilen ya da yukarıdan düşen cisimler)	20-25
Patlama, Üretim esnasındaki toz	15-25
Su basması, Kömür- ekipman yangını	8-14
Patlayıcı Madde	15-25
Elle veya Mekanik taşıma; El aleti çarpması, düşmesi, sıkışması; Yürürken ve yüksekte düşme	8-19
Makine veya malzemelerden kaynaklanan Çarpma, düşme, sıkışma ve Fiziksel Zorlanmalar	8-14
Gürültü, titreşim	8-19
Diğer (Elektrik, kimyasal madde, Çapak-yonga-çivi Batma, Aydınlatma, Kara yolu çarpma-devrilme-yanma, İş Makinası Düşme-yanma, İş Makinası trafikte çarpma-devrilme-yanma)	8-19

Risk değerlendirmesinden tespit edilen sonuçlara göre işletmede iş güvenliği açısından alınan tedbirler şöyle sıralanabilir;

- Açık ocak işletmesi maden sahasında herhangi bir taş düşmesi, devrilen ya da yukarıdan düşen sivri cisimler insan sağlığı açısından tehlike arz etmektedir.

Bu tehlikelere karşı önlem amaçlı olarak mühendisler ve tüm çalışanlar tarafından ayak koruyucu donanımlar oluşturulacak risklerden korunmak ve riskleri azaltmak için kullanılmaktadır.

- İşletme sahası içerisinde yer alan personellerin kafa koruyucu donanımlarını sürekli kullanmaları, mesai saati ara zamanlarında bile idari birime ulaşımaya kadar düşebilecek taş veya sivri cisimlere karşı meydana gelebilecek tehlikelere karşı hazırlıklı olmaları gerekmektedir. Personel bunun bilincinde hareket ederek çalışma hayatına devam etmelidir.
- İşletme sahası içerisinde sürücülerin araçlarını sürüşleri esnasında görüş açısı olarak önlerinde oluşabilecek toz engelinin çözüme kavuşturulması amacıyla sulama tankları aracılığıyla sık aralıklarla işletme sahası içerisinde kullanılan geçiş yolları sulanmaktadır.
- İşletmede ilk yardım çantasının içerisinde neler bulunduğu ayrıntılı olarak belirtilmektedir. Taşınabilir olma özelliğinden dolayı, acil durumlarda hızlı ve tedbirli hareket etmekte yardımcı olmaktadır.
- Yangın tüpünün bulunduğu yerin hemen üzerinde yangın tüpünün nasıl kullanılacağı gerektiği belirtilmektedir. Bu bilgilerin ulaşılabilecek yerde bulunması ve sürekli göz önünde durması da iş güvenliği yönünden büyük bir öneme sahiptir.
- Kamera güvenlik sistemi kayıtları sayesinde işletme çalışma sahasının herhangi bir yerinde meydana gelebilecek kaza veya oluşabilecek tehlikeden kaynaklı risklere karşı önlem alınabilmektedir.
- İşletmede bulunan güvenlik dolabı içerisinde yedek kişisel koruyucu donanımlar çalışan personel için işletme bünyesinde hazır halde bulundurulmaktadır. Fakat bu hususta işletmelerin kişisel koruyucu donanım kullanımından ziyade işletmede oluşabilecek tehlikeleri kaynağında yok etmeye yönelik önlemlere öncelik vermesi gerekliliği çok büyük bir önem arz etmektedir.
- İşletmede iş güvenliği levhalarının açıkça görülebilen konumda yer aldığı, darbe ve çarpma risklerine karşı korunmalı olduğu, kısa ve net açıklamalar içerip, levhaların boyutlandırma ölçülerine dikkat edilerek

oluşturulduğu ve çalışan personelin bilgilendirildiği görülmektedir.

- Makine koruyucusu; insanı makine kaynaklı oluşabilecek tehlikelere karşı korumak amaçlı kullanılan aparatlardır. Yani anlaşılacağı üzere bu ekipmanlar makine koruma amaçlı oluşturulmuş sistem olmayıp insanı makineden korumak, insan sağlığını düşüncem amaçlı oluşturulmuş ekipmanlardır.
- Manyezit işletmesinde mühendislere özel hazırlanmış reflektörlü ikaz yelekleri üzerinde isim ve kan gruplarının açık bir biçimde yazılı olduğu, koruyucu donanımların kişiye özel kullanıldığı görülmektedir. Reflektörlü ikaz yeleklerinin az ışıklı ortamlarda ve gece çalışmaları sırasında fark edileceği ve iş güvenliği önlemi olarak bu hususun önem arz ettiği ve kişisel koruyucu donanımların kesinlikle kullanılması gerekliliği zorunluluk çerçevesinde kabul edilmelidir.
- Ocak kazı işlemi yapılan bölgede ve yolların tasarlanma işleminde sahada çalışan en geniş araçların karşı karşıya gelebileceği göz önünde bulundurularak tasarımın yapıldığı, ocak içi yolların eğiminin görüş mesafesini olumsuz etkileyecek düzeyde olmadığı ve bundan dolayı da oluşabilecek tehlikelerden kaynaklı kazaların meydana gelme olasılığının düşük oranda oluşacağı gözlemlenmektedir.
- Basamak ve geçiş yolu kenarlarında bulunan tehlike oluşturabilecek taşlar sürekli temizlenmekte, bölgede çalışan iş makineleri için risk teşkil etmemesine önem verilmektedir.
- Kazı işlemi yapılan bölgenin yollarında malzeme bırakılmadığı, yayaların araçların geçtiği yollarda hareket etmedikleri ve bu önlemlere önem verme kabiliyeti duygusu içerisinde buldukları, yüklemeye ve taşıma araçlarını kullanan operatörlerin tam yetkisi olan yetkili makamlarca verilmiş olan ehliyeti bulundurma yetkisi altında araçlarını kullandıkları incelenmekte ve sıkı denetim altında kontrolleri gerçekleştirilmektedir.
- Operatörlerin araçlarını kullanırken yol üstünlüğü kurallarına dikkat ettikleri ve uyarı sinyallerine dikkat ederek araçlarını kullandıkları çalışma bölgesinde görülmektedir.
- Yol kenarlarında ve araç geçiş yollarında bulunan uyarı levhaları dikkatle

konumlandırılmakta ve periyodik zaman aralıklarında bu uyarı levhaları kontrol edilmektedir.

- Delik delme makinası operatörü makinaya binme ve inme işlemi esnasında tutamakları kullanmakta ve atlamamaktadır. Operatör kabini taş çarpması, taş savrulmasına karşı koruyucu kabin ve tavana sahiptir.
- Dönen delme çubuğunun yakınında delme işlemi sırasında başka çalışan personel tarafından çalışma yapılmamakta, delik delme işlemi bittikten sonra gerekli patlayıcı malzemeler deliğin kenarına güvenlik çerçevesi içerisinde bırakılmaktadır.
- Delik delme makinasının yakın mesafesinde meydana gelebilecek taş savrulması riskini önlemek amaçlı insan bulunmadığına dikkat edilmektedir.
- Patlatma sahası bayrak ile işaret edilmektedir. Bu bölge tehlikeli bölge olarak adlandırılmaktadır.
- Delik mesafeleri ölçümünü yapan ateşleyici belgesine sahip personel ve diğer çalışan personel tehlike oluşturacak durum oluşmasını önlemek amacıyla delici makinenin operatörünün iş makinası motorunu durdurarak işlemin bitmesini beklemesi iş güvenliği tedbiri olarak olumlu bir davranıştır.
- Ateşleyicinin kafa koruyucu donanımı (Baret) ve ayak koruyucu donanımını (Çelik burunlu ayakkabı) kullanması iş güvenliği önlemi olarak önemle üzerinde durulması gereken bir durumdur.
- Delik delme makinasının matkabı dönüyor vaziyette iken ateşleyici personel delinme aşamasında olan deliğin dibinde herhangi bir kapsüle duyarlı patlayıcı (dinamit) ve elektriksiz kapsül koymamaya dikkat etmektedir. Delik delme işleminin bitmesinin beklenmesi ve delik delme işlemi bitirilmeden bu malzemelerin hazır vaziyette yerleştirilmesi halinde tehlikenin ortaya çıkabileceği bir durumun oluşturulmaması gerekmektedir.
- Çalışan personelin toz maskesi kullanması delik delimi esnasında ortaya çıkacak toza maruz kalma riskini azalmakta ve tedbir olarak kişisel koruyucu donanım kullanılmaktadır.
- Açık Ocak İşletmesinin içerisinde “patlatma bölgesinde bulunan cep telefonu ve telsizini kapat ve kutuya bırak” ibareli

levha büyük bir önem teşkil etmektedir. Çalışan personelin mutlaka bu kurala uyması gerekmekte ve patlatma yapılacak bölgenin yakınında telefonu açık bir vaziyette konumlanmaması gerekmektedir. İşletme bünyesinde de bu önleme çok dikkat edilmekte ve titizlikle uygulanmaktadır.

- Patlayıcı madde depo defteri aracılığıyla işletmede depoya giren ve depodan çıkan patlayıcı maddeler (dinamit, fitil, kapsül, ANFO) ayrıntılı bir biçimde belirtilmekte, depo sorumlusu ile ateşleyici bekçinin imzası eşliğinde bu kayıtlar not edilmekte ve işletme bünyesinde saklanmaktadır.
- Ayrıca patlayıcı malzeme kullanıldıktan sonra geride kalan patlayıcı malzeme artıkları (ANFO çuvalı gibi) işletmenin belli bir bölgesinde imha edilmektedir.
- Patlayıcı madde, lağım deliği iyice temizlenip içinde bir engel olup olmadığı kontrol edildikten sonra ateşleyici tarafından doldurulmakta, sıkılama işlemi yapılmakta ve elektrikle ateşleme yapılmadan önce manyeto kontrol işlemi gerçekleştirilmektedir.
- Deliğin içerisine boşaltılan patlayıcı malzemeler; yemlemeye duyarlı patlayıcı (ANFO), kapsüle duyarlı patlayıcı dinamit maddeli emülsiyon patlayıcı, elektriksiz kapsül (shockstar dual delay) dır. Doldurma işlemi yapılırken meteorolojik (rüzgâr, yağmur, gök gürültüsü) koşullara dikkat edilmesi, delme patlatma ve doldurma işlemlerinin bu önemli husus göz ardı edilmeden yapılması gerekmektedir..
- İşletmede patlatma yapılacak alana yakın bölgedeki yollar kapatılarak patlatma alanına araç yaklaşmasının önüne geçilecek gerekli iş güvenliği tedbirlerinin alındığı gözlemlenmektedir.
- Patlatma işlemi için emniyet mesafesinde beklemeye geçilmekte, ateşleyicinin manyeto aracılığıyla patlatma işlemini gerçekleştirmesi için gerekli önlemler alınmaktadır.
- Patlatma öncesinde idari binaya ve sahada çalışma halinde olan personele anons yapılarak patlatma yapılacağı haber edilmekte ve daha sonrasında bayrak aracılığıyla patlatma emri verilerek idari binaya ikaz sesi gönderilmektedir.
- Lağım deliğinde patlamamış patlayıcı madde kalabileceği ihtimali düşünülerek

elektrikli kapsülle ateşleme yapılan bölgeye en az 5 dakikalık zaman dilimi süresinde girilmediği, gerekli kontroller yapıldıktan sonra patlatma işlemi yapılmış sahada inceleme yapıldığı gözlemlenmektedir.

- İşletmede bulunan patlayıcı madde deposunda paratoner sistemi bulunmakta ve deponun çevresinde iletken teller yer almaktadır. Patlayıcı madde deposuna girişler iki kapı aracılığıyla yapılmaktadır. Depoya giriş kısımlarında sac levhalar yer almakta, çalışanlar bu bölgeye ellerini koyarak statik elektriklerini boşalttıktan sonra depo alanına girebilmektedirler.

Yukarıda bahsedile önlemlerin tüm maden sektöründe bulunan işletmeler açısından da önemle uygulanması gerekmektedir. Ekonomik boyuttan ve kazanç sağlamaktan ziyade insan sağlığının çok daha önemli olduğu unutulmamalıdır. Günümüz şartlarında tüm maden sektörü ve diğer tehlikeli sınıfta bulunan sektörler tarafından iş güvenliği tedbirlerinin göz ardı edilmeyip yerine getirilme zorunluluğu içerisinde bulunmaları gerekmektedir.

4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde ve dünyamızda sürekli gelişen teknoloji ve bu durumun devamında gelişmekte olan sanayileşmeden kaynaklı makina kullanımının sağlanması ve gelişiminin devam etmesi ile insanlar daha az iş gücü harcamakta ve işletmelerde makina teçhizatı kullanımı ile pratik bir şekilde istenilen üretim sonucuna ulaşılmaktadır.

Ancak gelişen teknolojiye bağlı olarak insanların da kendisini geliştirmesi ve iş güvenliği açısından tehlike ve sonucunda oluşabilecek risklere karşı daha da dikkat etmesi gerektiği göz ardı edilmemelidir ki burada asıl önemli olan husus ülkemizde bulunan sektörlerin iş güvenliğine vermesi gereken değer, kazanılan maddiyattan daha önemli olması gerektiğinin benimsenmesi gerekliliğidir. Maddi kazanç sağlamanın yanı sıra insan sağlığına verilen gerekli önemin sağlanması ülkemizin gelişmesi için de ayrı bir önem teşkil etmektedir.

Kendi sektörümüz açısından maden işletmeleri hususunda düşündüğümüzde, ne yazık ki bir kısım çalışanlar gerekli tedbirleri yerine getirmemekte alınması gereken önlemin de farkında olamamaktadırlar. Çalışanların bu hususlarda sürekli olarak eğitime katılmaları ve tehlike sonucunda

oluşabilecek riskleri önlemeye dönük tedbirleri bilip bu bilinçle hareket etmeleri gerekmektedir.

Tehlike ve sonucunda risk oluşturabilecek durumlara karşı kaza öncesi önlem alınması sağlanmalı, herhangi bir kaza ya da bir meslek hastalığı durumu oluşması engellenmelidir. Meydana gelen iş kazalarındaki artışı azaltmak ve bu duruma çare bulmak amacıyla iş yeri sorumlu ve yetkililerinin belirli teknik kapasitelerini geliştirmeleri ve bu bilgilerini, iş yerinin ekonomik hassasiyetini de gözetererek gerekli önlem ve tedbirleri almaları gerekmektedir.

Bu çalışmada; Manyezit A.Ş işletmesine uygulanan risk değerlendirme çalışmaları sonucunda alınması gereken tedbirlere dikkat çekilmelidir. İşletme de maddi kazanç sağlama durumu sonraki planlara atılmakta, çalışan sağlığına önem verilmekte, iş güvenliği yönüne titizlikle yaklaşılmakta ve alınması gerekli önlem ve tedbirler yeri ve zamanında gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda çalışanların bilgilendirilmesi maksadyla sıklıkla eğitimler verilmekte ve sonucunda personelin iş güvenliği konusunda bilinçlenmesi sağlanmaktadır.

İşletmede tehlike arz edebilecek durumlara karşı alınması gereken tedbirler ve önlemler iş güvenliği uzmanları tarafından diğer personele aktarılmaktadır. Bu hususa

verilen önemden dolayı gerekli risk değerlendirme metotları tekrarlanarak ortaya çıkan değerlendirme sonucunda tespit edilen eksikliklerin giderilmesine çalışılmaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Kasap, Y. ve Subaşı, E., 2011, Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Açık İşletme Madencilğinde Risk Denetimi, Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu'2011 Bildiriler Kitabı, 24-25 Kasım 2011, Zonguldak
- Önder, S., Suner, N. ve Önder, M., 2011, Madencilik Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarının Risk Değerlendirme Karar Matrisi İle İncelenmesi, Türkiye 22.Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, N. Demirel, Ö. Erdem ve M. Erkayaoğlu, Korza Matbaacılık, s.403-404.
- Özkılıç, Ö., 2005. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, Ankara, 244 s.
- Özkılıç, Ö., 2014, Risk Değerlendirmesi, Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, s. 422.
- SGK, 2014, Sosyal Güvenlik Kurumu, 2011-2014 Yılları İş Kazaları İstatistikleri, <http://www.sgk.gov.tr/>
- TMMOB, Maden Mühendisleri Odası, 2010, Madencilikte Yaşanan İş Kazaları Raporu

Kırma Tesislerinde Gürültü Sorunu ve Çok Değişkenli Matris Yöntemiyle Risk Analizi

Noise Problem in Crushing Plant and Risk Assessment Using the Multi Variable Matrix Method

O. Şahbaz, E. S. Ersöz, C. Karagüzel

Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Bu çalışmada ilk defa çok değişkenli matris yöntemi kullanılarak bir kırma ünitesinde risk değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Risk skorunun hesaplanmasında olasılık, şiddet, etkilenen personel sayısı, daha önce gerçekleşmiş kazaların yanı sıra yasal zorunluluklar da parametre olarak kullanılmıştır. Yapılan risk analizine göre kırıcı yanında, üst bunker ve alt bunkerde “çok dikkat edilmesi gereken risk” tespit edilmiştir. Bu bölgelerdeki gürültü düzeyinin 85 dB(A)’in üstünde olduğu düşünüldüğünde çalışanların gürültü tehlikesinden kulaklık kullanımı ya da mühendislik önlemleriyle uzak tutulmaları önem taşımaktadır.

ABSTRACT In this study multi variable matrix method has been used for the first time as a risk assessment method in the crushing plant. Not only probability, severity, number of labor and previous accidents, also the legal obligations have been taken into a consideration as parameter to compute the risk score. According to risk assessment, there is very high noise is higher than 85 dB(A) in the upper bin, bottom bin and near the crusher. Therefore, labor should use the specific headset and engineering precautions should be taken to prevent the risk.

1 GİRİŞ

Madencilik, dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de iş kazaları açısından riskin en yüksek olduğu sektörlerden biridir (Olcaytu, 2011). Ülkemizde her yıl 60’ın üzerinde kişi madencilik faaliyetleri sırasında hayatını kaybetmektedir. Bunun yanında yaralanmalar ve meslek hastalıkları konusunda da madencilik sektörü yüksek risk taşımaktadır (Olcaytu, 2011). Bununla birlikte, çalışma ortamındaki tehlikelerden kaynaklı verim düşüklükleri noktasında da sektörde problemler devam etmektedir.

Madencilik sektöründe birçok farklı proses bulunmakta olup bu proseslerden bir tanesi de kırma işlemidir. Kırma işlemi ufalamanın ilk basamağını oluşturmaktadır. Cevher zenginleştirme tesislerinde öğütme öncesi uygulanan kırma prosesinin, taş ocaklarından çimento fabrikalarına ve beton santrallerine kadar birçok endüstriyel uygulaması bulunmaktadır. Kırma tesislerinde birçok tehlike bulunmakta olup

bu tehlikeler ölümlü iş kazası ya da meslek hastalığı oluşturma potansiyeline sahiptir. Çok sayıda çalışanı bulunan tesislerdeki en önemli tehlikelerden biri gürültüdür.

Gürültü; maddenin titreşimi ve bu titreşimin hava gibi bir ortam içinde iletilip kulağa rahatsız edici oranda gelmesine denmektedir. İnsan sağlığını çeşitli yönlerden etkileyen gürültü kırma tesislerindeki ana problemlerden biridir. Meslek hastalığı olarak kabul gören gürültü, insan sağlığını işitme kayıpları ve çeşitli sağlık problemleri oluşturarak etkilemektedir. Kırma tesislerinde ortalama 80 dB ve üstünde gürültü olduğu bilinmektedir. 80 dB üzerindeki gürültünün işitme organında ciddi zararlar bırakacağı düşünüldüğünde kırma tesislerinde çalışan işçilerin yüksek risk düzeylerinde çalıştığı aşıkardır.

Bu çalışmada bir beton santrali üzerinden kırma tesislerinde gürültü ölçümü, riskin nasıl hesaplanabileceği ve tehlikelerin nasıl

bertaraf edileceği ile ilgili bilgiler verilmiştir. Son dönemde iş sağlığı ve güvenliği konusunda yoğun çalışmalar yapıldığı ve teknik personelin üzerinde önemle durduğu madencilik sektörü için yapılan çalışmalara örnek teşkil etmesi açısından da önemli olduğu düşünülebilecek bu çalışma, kırma tesislerindeki gürültü tehlikesiyle ilgili detaylı bilgiler içermektedir.

2 GÜRÜLTÜ

Endüstrileşme ve beraberinde gelen mekanizasyon özellikle çalışma çevresinde gürültünün başlıca kaynağını oluşturmaktadır. Günümüzde fabrikalarda yüzlerce çeşitte makine çalışmaktadır. Bu makineler ise çok çeşitli şiddette sesler çıkarmaktadır (Arıcı, 1999).

Genel olarak maddenin titreşimi ve bu titreşimlerin hava, su gibi bir ortam içinde iletilerek kulağa gelmesi "ses"; hoş gitmeyen ve rahatsız edici sesler ise "gürültü" olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla gürültünün kaynağı ses'tir. Ses özünde bir titreşimdir. Sesin miktarı, frekans ile ölçülmektedir. Frekans ise, sesi meydana getiren titreşimin saniyedeki miktarını ifade etmektedir. Sesin saniyedeki titreşim sayısı ise Hertz olarak ifade edilmektedir.

Ses dalgalarının şiddeti ve yoğunluğu gürültü düzeyini belirlemektedir. Gürültü dB (desibel) denen bir birimle ölçülmektedir. Desibel ölçü birimi, ses şiddetinin frekansa göre ayarlanmış şeklidir. Bin hertz'de 2.10-4 mikrobarlık bir basınç "desibel" olarak adlandırılmaktadır (Velicangil, 1970).

Gürültünün çeşitleri; gürültünün frekans aralığına, ses seviyesinin değişken olup olmamasına ve alanın yapısına göre değişmektedir. Bu anlamda frekans aralığına göre gürültü; sürekli geniş bant gürültüsü (makine gürültüsü gibi) ve sürekli dar bant gürültüsü (döner testere gürültüsü gibi) olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.

Gürültü zamana göre gruplandırıldığında, ise kararlı gürültü (dokuma tezgahının gürültüsü gibi) ve kararsız gürültü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kararsız gürültü ise, kendi içerisinde dalgalı gürültü, kesikli gürültü ve anlık (vurmalı) gürültü olmak üzere üç grupta incelenmektedir.

Gürültü düzeyinde zaman içerisinde değişiklik olmadığı zaman oluşan gürültü kararlı gürültü; zaman içerisinde gürültü düzeyinde önemli sayılabilecek değişiklikler olması halinde ise kararsız gürültüden söz edilmektedir (Erkan, 1989 ve 1997).

Çizelge 1. Gürültü düzeyine bağlı olarak işitme kaybı yüzdeleri (Ersöz, 2013)

Gürültü Düzeyi, dB	İşitme Yeteneği Kaybı (%)		
	5 yıl	10 yıl	20 yıl
80	0	0	0
90	4	10	16
100	12	29	42
110	26	55	78

Gürültü insan sağlığını çeşitli yönlerden etkilemektedir. Bu etki, maruz kalan sesin şiddetine ve sese maruz kalma süresine göre değişmektedir (Çizelge 1). Gürültünün etkileri, işitme organına etkisi, psikolojik etkisi ve verimliliğe etkisi olmak üzere üç alanda ortaya çıkmaktadır.

Gürültünün en önemli ve kalıcı etkisi işitme organı üzerinde olmaktadır. 80 desibelin üzerindeki gürültü düzeyi zamanla duyma yeteneğinde azalmaya sebep olmaktadır. Gürültüye bağlı işitme kaybının meydana gelmesinde gürültünün şiddeti, frekansı ve gürültüyle karşılaşma süresi etkili olmaktadır (Çizelge 2).

Gürültülü ortamlarda çalışanlarda görülen işitme kayıplarının bazıları birkaç dakika içinde düzelebileceği gibi daha uzun bir sürede devam edebilmektedir. Bunların ilki geçici işitme kaybı, diğeri ise kalıcı işitme kaybıdır.

Çizelge 2. Gürültüye dayanma süresi (Ersöz, 2013)

Gürültü Düzeyi (dB)	Dayanma Süresi
90	8 dak/gün
100	5 dak/gün
110	3 dak/gün
120	28 sn/gün

Geçici işitme kaybı, belirli bir süre gürültülü ortamda kalan bir kişide meydana gelen işitme kaybı şekli olup, belirli bir süre sonra ortadan kalkmaktadır.

Kalıcı işitme kaybı ise, şiddetli gürültüyle ani karşılaşma veya sürekli olarak şiddetli gürültüye maruz kalma halinde ortaya çıkabilen işitme kaybı halidir (Çam, 1995).

Gürültü çalışanların fiziksel ve zihinsel sağlığını da bozmakta olup, sosyal ilişkilerini de olumsuz yönde etkilemektedir. Çalışanlarda zamanla öfke, sinirlilik, kararsızlık gibi davranış bozuklukları yaratmaktadır.

Gürültünün birtakım fizyo-patalojik etkileri de ortaya çıkardığı gözlenmektedir. Örneğin; kalp atışlarının artması, sindirim sisteminin çalışmasının yavaşlaması, baş dönmesi, reflekslerde canlılık azalması, göz bebeklerinde genişleme, deride elektriksel dayanıklılık azalması, kanda kollesterol düzeyinin artması ve böbrek üstü bezlerde hormon artışında yükselmeler görülebilmektedir (Başpınar ve Bayramlı, 2006).

Gürültünün şiddetinin yüksek olduğu yerlerde sözlü haberleşme önemli ölçüde aksamakta ve hata yapma olasılığı da artmaktadır. Bunun sonucu olarak da toplam iş süresi uzamakta, kalite düşmekte ve de iş kazaları çoğalmaktadır (Aydemir, 1995).

Yukarıda verilen bilgiler ışığında gürültünün önlem alınması gereken ciddi bir tehlike olduğu ortaya çıkmaktadır. Kırma tesislerinde 75-90 dB üzerinde gürültü olduğu düşünüldüğünde bu tesislerde risk değerlendirme çalışmaları yapılması zorunludur.

3 RİSK DEĞERLENDİRME

Risk değerlendirme herhangi bir iş yerindeki tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin sebep olacağı risklerin tespit edilerek alınması gereken önlemlerin de belirlenmesini içeren bir süreçtir. İş sağlığı ve güvenliğinin temel direği niteliğindeki risk değerlendirme 6331 sayılı kanun gereği tüm iş yerlerinde zorunlu olarak uygulanmak durumundadır.

Risk değerlendirme ile ilgili olarak 200'un üzerinde analiz yöntemi olduğu bilinmektedir. Fine Kinney, John Ridley, Matris bu yöntemlerden sadece bazılarıdır. Bu yöntemlerin ilk basamağı tehlikeleri doğru şekilde tespit etmektir. Bu nedenle de uygun ölçüm aletleri, daha önceki kaza raporları, kanun-tüzük ve yönetmeliklerdeki değerler vb. büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada kullanılan risk değerlendirme metodu daha önce kullanılan yöntemlerden farklı olarak yasal zorunlulukları da risk skoru hesabının içine katılmasını sağlamıştır. Sunulan bu farklı hesaplama yöntemiyle iş yerindeki riskin hesabının daha gerçekçi yapılacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada kullanılan risk değerlendirme yöntemi bir çeşit matris yöntemi olup detayları aşağıda verildiği gibidir.

Matris Diyagramları, bir probleme veya olaya iştirak eden veya problem veya olay

üzerinde etkisi olan faktörlerin, parametrelerinin tanımlanmasını ve aralarındaki ilişkinin belirlenmesini sağlar. Karmaşık prosesler veya akım şeması içeren işlerin mevcut olduğu yerlerde veya olaylarda uygulanır. Beş yıllık geçmiş kaza araştırmalarına ihtiyaç vardır, ekip tarafından yapılması uygundur.

Tanımlanan risklerin her birinin değeri hesaplanırken; tehlikeli olayın veya maruz kalma durumunun meydana gelme olasılığı "O" ile, olay veya maruz kalma durumunun yol açabileceği yaralanma veya sağlık bozulmasının ciddiyet derecesi (şiddet) "Ş" ile, risk altındaki personel sayısı "P" ile, önceki kazalar ve meslek hastalığı "K" ile, yasaya uygunluk ve zorunluluğu ise "Y" ile gösterilmektedir. Bu parametrelerin birleşimi ise "risk seviyesi puan" olarak olasılık ve şiddet değerlerinin çarpılıp diğer bileşenlerin de katılımı ile elde edilen değer olarak hesaplanır. Yani risk skoru (RS) Eşitlik 1 ile bulunabilir.

$$RS = [(O \times \text{Ş}) + P + K + Y] / 34 \times 100 \dots \dots \dots 1$$

RS değerinin büyüklüğü riskin de yüksekliğini göstermektedir. En büyük RS değerine sahip risklerin önlenmesinde öncelik olmalıdır. Bu hesaplama yapılırken O ve Ş 5'li, P, K ve Y ise 3'lü olarak skalalandırılmıştır (Çizelge 3, 4, 5, 6 ve 7).

Çizelge 3. Personel sayısı ile ilgili skala

P: PERSONEL SAYISI	
1	1 Kişi risk altında
2	2-10 Kişi risk altında
3	10 Kişiden fazla risk altında

Çizelge 4. Yasal zorunluluklar ile ilgili skala

Y: YASAL ZORUNLULUKLAR	
1	Tamamı ile uygun veya yasal zorunluluk yok
2	Eksiklikler var
3	Hiç uygun değil

Çizelge 5. Önceki kazalar ile ilgili skala

K: ÖNCEKİ KAZALAR	
1	Hiç kaza olmamış
2	Yılda 1-3 Kez kaza olmuş
3	Yılda 3 kezden fazla benzer kaza olmuş

Çizelge 6. Olasılık ile ilgili skala

O: OLASILIK		
1	Çok Düşük Olasılık	Pratikte olası değil
2	Düşük Olasılık	Çok az olası (Deprem, yangın, vb olağan üstü durumlarda oluşabilir)
3	Orta olasılık	Hafif fakat olası (Kapasitenin üzerine çıkma, vb. Anormal durumlarda oluşabilir)
4	Yüksek Olasılık	Oldukça olası. (Kişilerden kaynaklanan hatalar, vb durumlarda oluşabilir.)
5	Çok Yüksek Olasılık	Çok yüksek olası (Normal çalışma koşullarında oluşabilir)

Çizelge 7. Şiddet ile ilgili skala

S:ŞİDDET		
1	Önemli Değil	Yaralanması veya işe ara vermeyi gerektirmeyen yaralanmalar ve / veya maddi hasar
2	Düşük Şiddetli	1-5Gün işe ara vermeyi gerektiren yaralanmalar ve / veya maddi hasar
3	Orta Şiddetli	Geçici iş göremezlik (5 gün üzeri rapor) ve / veya maddi hasar
4	Yüksek Şiddetli	Kalıcı kısmi sakatlık ve /veya maddi hasar
5	Çok Yüksek Şiddetli	Daimi iş göremezlik, meslek hastalığı, ölüm, ve / veya maddi hasar

Yukarıda verilen bilgiler ışığında risk skoruna göre;

- 81-100 puan: Kabul edilemez risk yani acil önlem alınması gereken risktir.

- 61-80 puan: Çok dikkat edilmesi gereken risk, mümkün olduğunca çabuk önlem alınmalıdır.

- 41-60 puan: Dikkat edilmesi gereken risk. Bu risklerle mümkün olduğunca çabuk önlem alınmalıdır.

- 26-40 puan: Dikkat edilmesi önerilen risk. Bu risklerle ilgili önlem alınırsa iyi olur.

- 0-25 puan: Kabul edilebilir risk yani acil önlem alınmasına gerek yoktur.

4 RİSK ANALİZİ UYGULAMASI

Bu çalışmada bir beton santralindeki kırma tesisinde gürültü temelli risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Kırıcı tesisinde yapılan iç ortam gürültü ölçümlerinde, TS EN 61672-1 (Elektroakustik - Ses Seviye Ölçerler - Bölüm 1: Teknik özellikler) ve TS EN 61672-2 (Elektroakustik - Ses Seviye Ölçerler - Bölüm 2: Model Değerlendirme Deneyleri) standartlarında da tarifi verilen teknik özelliklere sahip SVANTEK marka SVAN 949 model gürültü cihazı kullanılmıştır.

Bu ölçüm ile işletme içerisindeki makinelerden yayılan ses basınç seviyeleri ölçülüp, bundan kaynaklanan gürültünün, kişisel maruziyet düzeylerini aşp aşmadığı kontrol edilmektedir.

Ölçümler, TS EN ISO 11204 (Akustik- Makine ve Donanımlardan Yayılan Gürültü- Bir İş Mahallinde ve Belirtilen Diğer Konumlarda Yayılan Ses Basınç Seviyelerinin Ölçülmesi- Çevresel Düzeltmeler Gerektiren Metot) ve TS EN ISO 11200 (Akustik- Makine ve Donanımlardan Yayılan Gürültü- Bir İş Mahallinde ve Belirtilen Diğer Konumlarda Yayılan Ses Basınç Seviyelerinin Tayini İle İlgili Temel Standartların Kullanılması İçin Kılavuzlar) standartlarına göre yapılmıştır.

Gürültü Yönetmeliği'nde de belirtildiği üzere, TSE 2607 1999: 1990 Standardında tanımlanan sekiz saatlik bir iş günü için, anlık darbeli gürültünün de dahil olduğu bütün gürültü maruziyet düzeylerinin zaman ağırlıklı ortalaması ve günlük gürültü maruziyet düzeylerinin sekiz saatlik beş iş gününden oluşan bir hafta için zaman ağırlıklı ortalaması hesaplanmaktadır. Aynı zamanda yine yönetmelikte yer alan en yüksek ses basıncı ("C"-frekans ağırlıklı anlık gürültü basıncının maksimum değeri) da ölçülmektedir.

Buna göre, ses basınç düzeyleri tespit edilecek cihazların konumları, cihazları kullanan operatörlerin konumları, işletme içerisindeki diğer cihazların ses basınç seviyeleri ve arka plan gürültüleri de dikkate

alınarak, standartta belirtilen şartlar doğrultusunda, ölçüm yapılmaktadır.

Ölçüm sonuçları çalışma ortamında gürültü kaynağına (makine, tezgah) bir metre mesafede cihaz sabitlenerek gürültü değerlerinin stabil hale geldiğinde birer dakika arayla üç ölçüm kayıt altına alınmıştır. Daha sonra üç ölçüm değerlerinin logaritmik ortalaması alınarak ölçüm sonucu verilmiştir (Ersöz, 2013).

Ölçüm (leq) : X1

Ölçüm (leq) : X2

Ölçüm (leq) : X3

$$=10 * \text{LOG}_{10} \left((10^{(X1/10)} + 10^{(X2/10)} + 10^{(X3/10)})/3 \right)$$

İç ortamdaki gürültüler için 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve Gürültü Yönetmeliği dikkate alınmıştır. Buna göre de en düşük maruziyet eylem değeri 80 dB(A), en yüksek maruziyet eylem değeri 85 dB(A) ve maruziyet sınır değeri 87 dB(A) olarak dikkate alınmıştır.

Beton tesisinde bulunan kırıcı Meka MJ serisi primer kırıcı olup;

Anma ölçüleri (mm):900*650

Çıkış ağız açıklığı (mm):60-150

Kapasite (t/s):50-200

Motor gücü (kW/rpm):75/1000

Ağırlık(kg):11000'dir.

Yukarıda bilgileri verilen kırıcı çevresinde yapılan gürültü ölçümleri sonucunda ölçüm değerleri ve risk analizi sonuçları Çizelge 8'de verildiği gibidir.

Bu sonuçlara göre; kırma tesisindeki gürültü değerlerinin çalışan sağlığı olumsuz anlamda etkileyecek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Özellikle Alt bunker, üst bunker ve kırıcı yanında "çok dikkat edilmesi gereken risk" oluşmaktadır. Bu nedenle de gürültünün kaynağında yok edilmesi ya da kişide yani çalışanda yok edilmesi gerekmektedir. Bu manada; gürültü çıkan noktalarda gerekli mühendislik önlemlerinin alınması ve mümkünse motor susturucusu takılması gerekmektedir. Ayrıca gürültünün kaynağında önlenemediği noktalarda çalışanların uygun kulak koruyucularının kullanımını sağlanmalı ve düzenli olarak denetlenmeli. Son olarak en önemli noktalardan biri de çalışanların kulaklık kullanımı ve iş sağlığı güvenliği konusunda eğitilmelerinin sağlanması gerekmektedir. Burada önerilen kulaklık tipi CE EN 352-1 standardında kulaklık tipidir. Ek önlem olarak da mühendislik çözümlemesi gereği kırıcı motoruna susturucu uygulamaları şeklinde olabilir. Ayrıca gürültü seviyesi

yüksek çıkan lokasyonlarda çalışacak personelin vardiya saatleri yönetmeliğinin öngördüğü şekilde düzenlenmelidir (ILO'nun 1997 yılında yayımladığı sözleşme gereği belirlenen çalışma sürelerine uygun olarak).

Çizelge 8. Gürültü ölçüm sonuçları ve risk skoru

Faaliyet Alanı	Gürültü değeri, dB	Risk skoru*			
Depo	78.6	47			
Alt Bunker	86.2	79			
Üst Bunker	88	79			
Silolar	83	56			
Kumanda Odası	78.2	47			
Kırıcı yanı	108	76			
*Risk skoru hesabı					
	O	S	P	K	Y
Depo	3	3	3	2	2
Alt Bunker	4	5	3	2	2
Üst Bunker	4	5	3	2	2
Silolar	3	4	3	2	2
Kumanda Odası	3	3	3	2	2
Kırıcı yanı	4	5	3	1	2

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir beton santralindeki kırma tesisiyle ilgili olarak gürültü temelli risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada yeni bir risk değerlendirme yöntemi kullanılmış olup riskin hesaplanmasında; olasılık, şiddet, personel sayısı, kaza geçmişi ve yasal zorunluluklar parametre olarak değerlendirilmiştir. Yapılan risk değerlendirme sonuçlarına göre; kırıcı yakınında, alt bunker, üst bunker ve silolarda gürültü düzeyi kanuni maruziyet sınır değerleri üzerinde çıkmıştır. Bu durumda çalışanların kaza geçirmesi, meslek hastalığına uğraması muhtemeldir. Bu nedenle, gürültünün kaynağında önlenmesi, bunun yapılamadığı noktalarda işçilerin CE EN 352-1 tip kulaklıkları kullanması gerektiği önerilmektedir.

Bununla birlikte; sahada dikkate alınan veri sayısı ne kadar çok olur ise yapılan risk değerlendirmeleri o kadar spesifik ve doğruyu yansıtır nitelikte olacaktır. Tezgah başında iş yapan çalışanla ilgili parametreleri belirken çalışanla bire bir temas kurulmalı, yapılan iş kendisi tarafından planlanmalı ve görülmeli (oryantasyon), çalışanların fiziksel, ruhsal ve sosyal durumu dikkate alınmalıdır. Böylece

yaptığımız risk analizi çalışmaları en doğru sonucu verecektir.

KAYNAKLAR

- Arıcı, K., 1999, İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği, Sargın Ofset,183, Ankara.
- Aydemir, E., 1995, İş Veriminin Artırılması Bakımından Matbaa İşletmelerinde Ergonomi, 5.Ulusal Ergonomi Kongresi, M.P.M Yayınları, Yayın No: 495, İstanbul.
- Başpınar, N., ve Bayramlı, Ü., 2006, Büro Yönetimi, 2.Baskı, Nobel Yayın Dağıtım. Ankara.
- Çam, N., 1995, Tekstil Sanayisinde Var Olan Gürültünün Çalışanların Verimliliğine Etkisi, 5.Ulusal Ergonomi Kongresi, M.P.M Yayınları, Yayın No: 495,İstanbul.
- Erkan, N., 1989, İşletmelerde İnsan Gücü Verimliliği, M.P.M Yayınları, Yayın No: 384, Ankara.
- Erkan, N., 1997, Ergonomi, M.P.M Yayınları, Yayın No: 373, Ankara.
- Ersöz, E.S., (2013). Ortam ölçümlerinin risk analizinde önemi ve iki farklı yöntem ile karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Olcaytu, E., 2011, Kapıkaya/Karaisalı kum ocağında iş güvenliği risk analizi, Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Velicangil, S., 1970, Endüstri Sağlığı ve Meslek Hastalıkları, Yakın ve Orta Doğu Çalışma Enstitüsü Yayınları, Yayın No: 3, Dizerkaca Matbaası, İstanbul.

***Kırmataş Ocağ İşletmeciliğinin Çevresel Etkileri ve
Sürdürülebilirlikleri***
*(Environmental Impacts and Sustainability of Aggregate
Quarries)*

Environmental Impact of Sand Mining in Malir River Bed Karachi, Pakistan

Malir Nehir (Karaçi, Pakistan) Yatağındaki Kum Ocağı Madenciliğinin Çevresel Etkisi

V. Husain, G. Hamid, M. Bilal, R. Yassen

Department of Geology, University of Karachi, Karachi, Pakistan

S. Anjum

Department of Geology, Federal Urdu University, Karachi, Pakistan.

ABSTRACT: Extraction or mining of sand and gravel from river beds/flood plains plays an important role as aggregate in construction industries but has placed immense pressure on the environment where sand and gravel resources occur. Present study was carried out to determine the environmental effects of sand and gravel mining in Malir River bed in Karachi. Field work was carried out in the study area to determine the physical environmental effects of mining. Results show that destruction of landscape, reduction of farm, grazing land and lowering of water table are the environmental effects that result due to sand and gravel mining in Malir River. Due to continuous open pit mining of the sand and gravel deposits of more than 100 ft thickness, the underlying bed rock which is a part of Gaj Formation of Miocene age is exposed on the surface of river bed which may destroy the existing aquifer system in near future. Sand mining is widespread and highly unregulated in the Malir area. It is concluded that the government develops and implements policies designed to protect the environment around Malir sand and gravel mining areas in Karachi.

1 INTRODUCTION

Aggregate is a substance made from several materials such as river sand and gravel (Schaetzl, 1990). Besides, sand and gravel being useful resources in construction industry are also useful tools in flood control and river stabilization (Chimblodza, 2012). Sand mining and gravel extraction are a worldwide activity in both developed and developing countries (Draggan, 2008). Sand being cheap and readily accessible resource is being mined both legally and illegally all over the world including Pakistan. The sand mining is being done without considering the damage it is causing to the environment (Draggan, 2008). Further, river sand, pit sand and gravel are mined around large

expanding areas (Schaetzl, 1990). The area of present study is Malir River in Karachi. It has been the major source of construction sand for over 100 years for Karachi city of about 20 million people. Though several Karachi based soil testing companies have carried out geotechnical studies of aggregate resources of Malir River but published data is very much lacking.

The study area lies between latitude 24° 56' 22" and longitude 67° 18' 45" (Fig. 1 a, b). In Malir operations include site clearing to remove vegetation, then mining and transportation to construction sites in the city leaving the mined area unreclaimed. Machinery commonly used for mining includes bulldozers, tractors scrapers and front loaders. Excessive extraction of sand

and processing for constructing concrete blocks has destroyed scenic landscape in the area.

2 MATERIALS AND METHODS

This work is aimed at assessing the environmental impact of sand and gravel mining in Malir river bed in Karachi. On the field, data were obtained using a global positioning system (GPS) which was used to record coordinates for the location of mining activities in the area. Field photographs were taken because of their importance in this study. Field observations were made in order to note the existing physical impacts of sand mining on environment and aquifer system in the study area.

3 RESULT AND DISCUSSION

3.1 Geology of the Area

The Malir River bed consists of surficial alluvium deposits of Holocene age. These deposits are mainly composed of sand, silt and clayey materials with thin layers of gravels. Most of the mining of sand is being done from these deposits. Malir River bed overlies Gaj Formation of Miocene age as a truncated surface. Gaj Formation consists of limestone, sandstone and shale and minor conglomerate. Limestone is yellowish brown to dark brown, cream in color, fossiliferous, hard, sandy and argillaceous (at places) marls. Sandstone is soft, fine grained, yellowish brown to gray. Shale is greenish gray, gypsiferous interbedded with sandy limestone and calcareous sandstone.

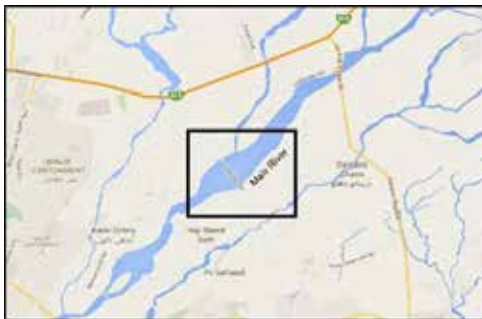


Fig. 1(a). Location Map of the Study area



Fig. 1(b). Locations of Sand and Gravel Quarries in Malir River

3.2 Field Observations

Goddard (2007) indicated that Sand and gravel extraction and processing have significant negative effects on scenic landscapes. The study area of Malir has been badly affected by destruction of coconut and mango plantations (Fig. 2). The whole topography has become marked by shallow and deep cutting of river sand terraces. According to Bagchi (2010), there is contamination of sand aquifer water due to formation of ponds as mines tend to dig on areas with thick sand bed creating water ponds.



Fig. 2. Destruction of Coconut Trees

3.2.1 Physical Environmental Impact

Results from field observation showed that one of the physical effects of sand and gravel mining in Malir River bed is the reduction of farmlands and grazing lands (Fig. 3). This is because when sand and gravel is to be extracted, vegetation is destroyed and this

vegetation serves as food for their cattle. This then denies both animals and inhabitants in the area their means of livelihood.



Fig. 3. Malir River Bed mining Showing the Reduction of Farmlands and Grazinglands.

Continuous mining causes complete removal of vegetation and destruction of topsoil and subsoil resulting in a reduction in faunal population (Fig. 4). Kuttipuram (2006) supported this impact by noting that loss of vegetation and ecosystems is common around and next to Indian rivers, an eyesore which gives an offensive look to the natural beauty of the environment. Still in India, Pereira (2012) recognised that there is destruction of mangrove forests due to illegal construction of storage docks, roads, infrastructure for easy mining, storage and transportation of sand from the rivers.



Fig. 4. Showing complete removal of vegetation and destruction of topsoil and subsoil.

Saviour (2012) discussed the destruction of existing vegetation and soil profile significantly in topsoil affecting flora and fauna in Indian regions as mining continues. Landscape destruction, is one of the significant effects of mining in the area. The original landscape has been destroyed and altered as a result of excavated pits and

trenches, leaving behind unpleasant sights which render the land unsuitable for any productive purpose. During the raining season these pits collect and store stagnant water and as such, serve as breeding ground for pests such as mosquitoes which in turn can affect the health of the people living in and around the area.

There is collapse of river banks in the area due to sand and gravel mining (Fig. 5). The extraction of sand and gravel around and within the Malir River makes the banks of the river weaker leading to their gradual collapse. Bagchi (2010) discussed environmental land and surface degradation as a serious impact of in stream mining on Indian rivers. There is damage to river banks and general ecosystems due to access ramps to riverbed. Continuous removal of sand from river bed increases velocity of flowing water which erodes beds and banks. Kondolf (2007) noted that as the velocity increases, the river bed can propagate both upstream and downstream for many kilometers. This can lower alluvial water tables.



Fig. 5. Showing collapsing of Malir River banks

Air pollution is also one of the environmental impacts observed in the area. Air pollution caused by dust particles can be a health hazard causing respiratory disorders such as asthma and irritation of lungs (Saviour, 2012). The sand is also extracted from rock blasting which generates noise pollution in the study area.

Stebbins (2006) noted that as mining occurs, there is loss of protection provided by sand and gravel as it filters out pollutants. Gravel pits are sometimes used as dumping sites with tipper trucks carrying waste to dump as they come to collect sand and gravel. Tailing and waste dumps from mining processes pollute ground water resources near mining areas and contaminate soils.

3.2.2 Lowering of Watertable

Malir river beds has become victim of indiscriminate sand mining which has lowered the watertable to 150ft. It is feared that continuous sand excavation in the area will further lower the water table and drying up of wells in the area in near future. It has also been observed that those engaged in illegal mining of sand in the area have also started digging wells and taking out water with solar electric motors to supply water through tankers to water scarce city of Karachi at exorbitant rates (Fig. 6).



Fig. 6. Solar panels producing electricity for pumping stations.

Pereira (2012) revealed that sand mining is a threat to water security resulting from loss of groundwater storage due to lowering of alluvial water table. A lowered water table due to mining leaves drinking water wells dry, and people starving. Sand acts as a reservoir to charge groundwater wells, so when removed, wells have to be dug deeper, which increases water costs (Pereira, 2012). Stebbins, (2006) researched that co-existence of gravel sand mines and water supply harms the groundwater quality. In Malir river bed due to continuous extraction of sand and gravel groundwater level is being lowered and instead of dug well percussion well is recommended to drill in bed rock (Gaj Formation) in the study area (Fig. 7). Gaj Formation is mainly argillaceous in nature consisting of thick beds of shale intercalated with thinly to thickly bedded limestone. Therefore the water extracted from perched aquifer confined in beds of shale is saline in nature and not suitable for drinking, construction as well as agricultural purpose.



Fig. 7. Showing drilling of percussion well in bed rock (Gaj Formation)

3.2.3 Economic Impacts

The study area is currently experiencing sand and gravel mining in considerable quantities and this has resulted in various economic activities including the use of sand in road and concrete blocks for construction of road and structures in Karachi (Fig. 8). Sand and gravel had been a useful natural resource for thousands of years worldwide and are fundamental to human existence. Schaeztl (1990) discussed sand and gravel as crucial resources to economic development activities when making aggregate in United States of America.



Fig. 8. A man watering the concrete blocks made at the mining site.

Kondolf (2007) supported the use of active channel deposits (gravel and sand) as desirable for construction aggregates because they are durable, well sorted and frequently located near market and transportation routes. Kuttipuram (2006) supported Goddard (2007) when he discussed the importance of sand and gravel in Indian economy as cheap and most accessible used in construction industry to build strong structures and road bases. Bagchi (2010) realised that sand and gravel

are useful in landscaping projects which beautify gardens in India.

Sand and gravel are important in construction and manufacturing industries when used in building, making glass, electronic chips and ceramics. Sand mining underpins the development engine, so without sand the construction industry will come to a halt (Pereira, 2012). There is creation of employment for families at mining sites in Indian regions (Saviour, 2012). Alluvial aquifer of Malir is also a very important source of drinking as well as irrigating water. In the study area a number of dug wells of more than 150 ft depth, are providing water to the adjoining populated area (Fig. 9).



Fig. 9. A dug well at the mining site.

4 SAND BUDGET

A sand budget for a particular extraction area for example a stream or open area should be done to first determine the amount of sand that can be removed without causing degradation and erosion. Before doing a sand budget, consider mining methods to be used, particle size, characteristics of the sand, riparian vegetation and magnitude as well as frequency of hydrologic events after disturbance. Determining the sand budget for a particular stream requires site-specific topographic, hydrologic, and hydraulic information. This information is used to determine the amount of sand that can be removed from the area without causing undue erosion or degradation, either at the site or at a nearby location, upstream or downstream.

But sand budget techniques have not been applied in the Malir or other sand quarries in Pakistan. In Malir river bed, the sand mining is continuing unabated which has created serious environmental concerns by exhausting sand reserves and destroying the freshwater alluvial aquifers.

5 SOLUTION AND MITIGATION MEASURES

The United Nations Conference on Environment and Development Report (2002) advocates sustainable use of natural resources. Goddard (2007) highlighted that man benefit from sand and gravel, as cheap and readily accessible resources for development, so there should be conservation and rehabilitation of these resources for future use. Aromolaran (2012) recommended the planting of trees and shrubs that could help to regenerate degraded land and prevent erosion.

It should be made mandatory for miners in the study area by the government agencies to fill pits after mining, then plant trees and grass to minimize erosion. People in rural areas should be educated on alternative resources to sand such as crushed stone that are less dredging to agricultural land. Pereira (2012) also suggested use of crushed stone as alternative to conserve sand. Mwangi (2007) gave mitigation measures to sand mining and gravel extraction as refilling and growing appropriate vegetation on eroded areas by licensed miners as a prerequisite.

6 CONCLUSION

In Malir area to conserve sand and control environmental degradation there should be restriction on illegal sand mining and groundwater withdrawal. The department of mines with the help of police should impose heavy fines and jail terms to check illegal sand mining. Otherwise it is feared that over extraction of sand will deteriorate the water quality by destroying alluvial aquifer system in the area.

7 REFERENCES

- Aromolaran AK 2012: Effects of Sand Mining Activities on land in Agrarian Communities of Ogun State. *Continental Journal of Agricultural Science*, 6, 1
- Bagchi P 2010: Unregulated Sand Mining Threatens Indian Rivers. *The Journal India Together*, 21, 7-9.
- Chimbodza P 2012: Mineral Sands Mining in the Ruckomechi and Chewore Rivers. <http://www.victoriafalls-guide.net>
- Draggan S 2008: *Encyclopedia of Earth. Sand and gravel*. Washington DC

- Goddard J 2007: Land Degradation and Rehabilitation. Sydney: University of South Wales Press.
- Kondolf MG 2007: Geomorphic and Environmental Effects of In stream Gravel Mining. Landscape and Urban Planning. 28, 2-3
- Kuttiipuran M 2006: RIVERS: Physical Modifications. Singapore: Donnelley.
- Mwangi S 2007: Management of River Systems in East Africa. Nairobi: Macmillan.
- Pereira K 2012: Illegal Sand Mining: The Unexamined Threat to Water Security in India. <http://www.ismenviis.nic.in>
- Saviour NM 2012: Environmental impacts of Soil and Sand Mining: A Review. International Journal of Science, Environment and Technology. 1, 3, 125-134.
- Schaetzl R 1990: Sand and Gravel Mining for Aggregate: <https://www.msu.edu/-soils>
- Stebbins M 2006: Can Gravel Mining and Water Supply Wells coexist. Maine: University of Maine.
- United Nations Conference on Environment and Development Report 2002: <http://www.johannesburgsummit.org>

Taş Ocaklarında Yapılan Patlatmaların Tabiat Varlıklarına Etkisinin Araştırılması: Tescilli Kaya Odası Örneği (Kelkit/Gümüşhane)

The Investigation of Blasting Effect on Natural Heritages in Quarries: Registered Rock Room Sample

G. Külekçi

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon

S. Alemdağ

Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 2900 Gümüşhane

ÖZET Maden ve taş ocaklarında yapılan patlatma faaliyetleri sonucunda heyelan, yer sarsıntısı ve kaya fırlaması gibi birçok çevresel sorun ortaya çıkmaktadır. Bu olaylar çoğu zaman çevredeki yapı ve canlılara zarar vermektedir. Özellikle; patlatmalı üretim çalışmalarının yürütüldüğü ocakların yakınında bulunan kaya boşlukları, tarihi eser, mağara, kilise gibi yapılar üzerinde olumsuz etkilere sebep oldukları bilinmektedir. Gümüşhane İlinde de oldukça yaygın olan maden işletmeleri (taş ocağı ve metalik madenler) açık ocak ve galeri olarak işletilmekte olup, üretim mekanize kazılardan ziyade patlatma yöntemi ile yapılmaktadır. Bu çalışmada, Gümüşhane İli, Kelkit İlçesi, Özen Köyü'nün 1.2 km kuzey doğusunda yer almakta olan kaya odasının, civarında bulunan kalker ocağında yapılan üretim patlatmalarından kaynaklanan titreşimlerin İşli kaya odası üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda patlatma kaynaklı titreşimin bileşke parçacık hızı, $V=22.42$ mm/sn olup, hasar sınırı olarak kabul edilen 50 mm/sn değerinin oldukça altındadır. Yapılan çalışmada kullanılan patlatma tasarımı, patlayıcı miktarı ve hesaplanan bileşke parçacık hızına bağlı olarak, 597m uzaklıktaki tescilli Kaya Odasının, taş ocağında yapılacak patlatmadan olumsuz bir şekilde etkilenmeyeceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kaya odası, Kaya fırlaması, Patlatma tasarımı, Taş ocağı.

ABSTRACT Many environmental problems are showed up like landslides, ground vibration and rock fly as a result of blasting operations carried out in mines and quarries. These events often damage the surrounding life and structures. Especially, it is well known that quarries carried out production by blasting causes adverse effects on surroundings such as historical artifacts, caves, churches, rock cavities and structures. In this context, widespread mining enterprises (quarry and metallic mines) in the province of Gümüşhane is operated as open pit and underground mining and production is done by blasting method rather than mechanized excavation. In this study, the effect of blast induced vibrations produced by blasting in quarry is investigated on rock room located 1.2 km North East of Özen Village (Kelkit District, Gümüşhane).

In accordance with this purpose, measured blast induced vibration speed ($V=22.42$ mm/s) is well below of maximum allowable limit of vibration speed (50 mm/s) which is accepted as damage limit with regulation. In this study, it is designated that registered Rock Room, 597 m away, would not be affected by blasting operations in quarry according to blasting design, explosive amount and calculated vibration speed.

Keywords: Rock room, Rock fly, Blasting design, Quarry.

1 GİRİŞ

Doğal oluşan mağaralar ve yapay olarak yapılan Kaya Odaları Dünya’da ve Türkiye’de geçmiş dönemlerin sosyolojik, ekonomik, politik ve dinsel öğelerini günümüze kadar aktarmayı başarmışlardır. Güçlü bir tarihi birikimi ve birçok medeniyete ev sahipliği yapmış olan Türkiye’nin tarihinin bugüne aktarılmasında, geçmiş ve bugün arasında güçlü bir bağ kurulmasında Kaya Odaları önemli rol oynamaktadır. Bu yapıların madencilik faaliyetleri karşısında nasıl bir etki gördüğünün bilinmemesi büyük bir bilgi eksikliğidir.

Farklı jeolojik, arkeolojik, tarihsel ve kültürel yapılarıyla öneme sahip alanlar küresel ölçekte doğal mirası oluşturmaktadır.

Fiziksel ve kimyasal ayrışmaya karşı dirençsiz kayalarda, aşınma veya erime süresince oluşan farklılıklar turizm bakımından çeşitlilik sunarlar. Karstik şekiller kompleksinin en önemli temsilcisi olan mağaralar, içinde binlerce yılda oluşan değişik formlara sahip pek çok karstik birikim barındırırlar. Karbondioksitli yeraltı sularının kireçtaşını çözerek yerin derinliklerinde meydana getirdiği boşluklar, speleolojik bilgiler vermesi yanında jeolojik, jeomorfolojik, iklimatik, arkeolojik özellikler ve gelişimleri konusunda da ipuçları vermektedirler. Ayrıca topoğrafik bakımdan mağaraların bulunduğu seviyelerin karşılaştırılmasıyla taban seviyesi değişimleri belirlenebilmekte, aşınım yüzeyleri ile ilgili bilgi alınabilmektedir (Koçan, 2012).

Kaya Odaları doğal mirasları bünyesinde barındıran, oluşumları çok uzun zaman süreçlerine dayanan, tahrip edildiklerinde ya da yok edildiklerinde geri dönüşü mümkün olmayan, yerkürenin yaşam sürecinin herhangi bir döneminde meydana gelmiş benzersiz doğal anıt niteliğindeki alanları oluşturmaktadırlar (Yeşil vd., 2008).

Kaya odaları ve mağaralar insanlara doğal barınaklık yapmış ilk mekânlardır. Bunun yanında mağaraların içerisindeki farklı oluşumlar ve doğal güzellikler insanlarda keşif ve görme merakını geliştirmiş her

dönem turizm ve doğa araştırmalarına konu olmuştur. Mağaraların görsel, sportif, sağlık ve kültürel kaynak değerleri turizme potansiyel oluşturmaktadır. Bu değerlerin basında mağara içi oluşumlar ve onların doğal çekicilikleri, prehistorik yerleşme mekânı olmaları, dinsel önemleri ve speleoterapiye izin veren mikroklimatik özellikler göstermeleri gelmektedir. Bununla birlikte mağaraların sığınak, depo gibi farklı amaçlar için de kullanıldıkları bilinmektedir (Koçan, 2012).

Doğal kaynaklar korunamadığı, sürdürülebilirliği sağlanamadığı süreçte turizmin de bir anlamı kalmayacaktır (Kuntay, 2004). Doğal ve kültürel çevre üzerine zarar veren turizm anlayışı giderek çeşitlenmeye başlayarak çevreye karşı duyarlı ve bilinçli turizm aktivitelerine dönüşmektedir. Bu bağlamda Gümüşhane ve çevresi birçok özgün doğal, tarihi ve kültürel özellikleri ile alternatif turizm hareketleri için yüksek potansiyel içermektedir.

Doğal ve kültürel mirasların gelecek nesillere aktarılması için koruma kullanım dengesinin sağlanması zorunludur. Gelecek kuşakların doğal ve kültürel mirasları görecelik tanıması bu değerlerin onlara ulaşması ile mümkün olabilmektedir. Bu doğrultuda doğal ve kültürel kaynakların korunup doğru kullanımının sağlanması ile bu yapıların varlıklarını sürdürmesi mümkündür.

Günümüzde hızlı nüfus artışına bağlı olarak barınma ihtiyacının da artmasıyla, yeni kent planlamalarına ve büyük mühendislik tasarımlarına (yol, tünel, baraj, liman, dalgakıran) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum hammaddeye (agrega, anroşman, tahkimat taşı) olan gereksinimi arttırmaktadır. Söz konusu ihtiyaçları en ekonomik şekilde giderebilmek için işletilmekte olan taş ocakları kentlerin, köylerin, tarihi eserlerin mağaraların ve en önemlisi kaya odalarının yakın bölgelerinde olup, çevresel açıdan ciddi problemler (gürültü, bina hasarları, yaralanma, ölüm vb.) doğurmaktadır. Bu gibi sıkıntıları önlemek için patlatmadan sorumlu ocak mühendisinin kontrolünde planlı bir atım tasarımının (kullanılması gereken patlayıcı

miktari, tek bir ayna yüksekliği yerine basamaklar şeklinde kademelendirme, düşey delik metodu, en yakın yerleşim yerinde yer titreşiminin ölçümü vb.) yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla bu tür çevresel etkilerin ortadan kaldırılması ya da en aza indirilmesi için yer sarsıntısının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde kaya odalarının patlatma ve yer sarsıntılarında etkilenebileceği herhangi bir hasar kriteri oluşturulamamasından dolayı, her sahaya özgü çalışmalar yapılmakta olup, genellikle uluslararası standartlarla mukayese edilerek çevresel etkinin azaltılmasına yönelik çözümler aranmaktadır.

Kahrıman ve Tuncer (1999), tarafından Barit Maden Türk A.Ş' ye ait Sivas-Ulaş sölestit sahasında gerçekleştirilen parçacık hızı unsurları ve ölçekli mesafe veri çiftlerinden oluşan yer sarsıntısı ölçümlerinin (47 atım) sonuçları; regresyon analizine tabi tutularak, kontrollü patlatma tasarımlarında gerekli olacak saha sabitlerini belirlemişlerdir. Ayrıca İstanbul'daki bazı kireçtaşı ocaklarında yaptıkları çalışmada, 73 atımın sonuçlarını incelemiş ve oldukça yüksek korelasyon katsayılı ilişki elde ederek ($PPV = 340 (SD) \cdot 1.79$; $r = 0.93$) atımları kontrol altına aldıklarını belirtmişlerdir.

Bilgin vd.,(1998) T.K.İ. Çan Linyitleri İşletmesi'nde patlatmaların yol açtığı çevre sorunlarının giderilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, saha sabitlerini belirleyerek hasar oluşmaması için gecikme başına kullanılacak maksimum patlayıcı miktarını hesaplamışlardır. Saha sabitlerini belirleme çalışmaları sonrasında (B) maksimum parçacık hızının dilim kalınlığı ile değişip değişmediğini araştırmışlar ve parçacık hızı tahminine dilim kalınlığı parametresini de ekleyerek ($PPV = K \cdot (SD) \cdot P \cdot B$) oldukça yüksek korelasyonlu bir ilişki elde etmişlerdir.

Patlatmanın kaçınılmaz olduğu madencilik, inşaat, taş ocakçılığı, tünel, boru hattı gibi çeşitli sektörlerde yer sarsıntısı, kaya fırlamaları, zehirli gazlar ile dumanlar, toz ve hava şokundan kaynaklanan çevre problemleriyle sıkça karşılaşılmaktadır. Bu nedenle, patlatma koşulları belirlenirken

parçalanma derecesi, boyut dağılımı ve maliyet gibi teknik ve ekonomik unsurların yanında oluşabilecek çevresel problemlerin çözülmesi de göz önünde bulundurulmalıdır. Patlatma kaynaklı parametrelerin ölçümü ve tahmin edilmesi, çevresel problemleri önlemede büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, iyi bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan biri de atımın çevresel etkiler açısından emniyetli olmasıdır (Kesimal ve Erçıkıdı, 2003).

Patlatmalar sonucu oluşan titreşimlerin büyüklüğüne etki eden en önemli parametrelerden bir tanesi kayanın jeolojik yapısıdır. Dolayısıyla açığa çıkan titreşimlerin sönümlenme hızları da kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerine (fay, eklem, ayrışma, dayanım vb.) bağlı olarak değişik yönlerde farklılık göstermektedir (Aıdaş ve Bilgin, 2004, Ceylanoğlu 2001). Bu yüzden elde edilen ölçüm sonuçlarının atım yönlerine ve basamaklara göre analiz edilmesi, patlatmanın çevresel etkilerinin azaltılması açısından önem arz etmektedir (Erçıkıdı, 2004, Kesimal ve Kaya, 2002).

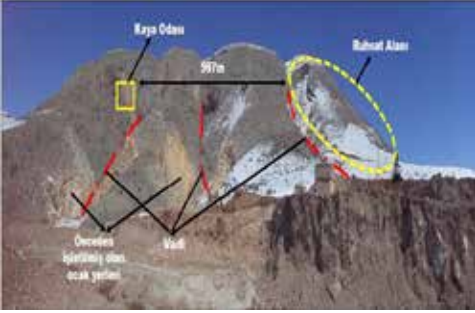
2 ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI VE JEOLJİSİ

Çalışma alanı Gümüşhane ili, Kelkit İlçesi, Özen Köyü doğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Bu çalışmada işletilmesi planlanan taş ocağının, tescilli kaya odasına 597m mesafede olması sebebi ile (Şekil 2) yapılacak patlatmalı kazı çalışmalarının, kaya odasına zarar verip vermeyeceği araştırılacaktır.



Şekil 1. Çalışma alanını içine alan 1/25.000 ölçekli topografik harita.

İnceleme alanı çevresinde dik, sarp kayalıkların olduğu bir topografya hakim olup, yamaçların ortalama eğim açısı 50°-80° arasında değişmektedir (Şekil 3).



Şekil 2. Çalışma alanına ait panoramik görünüm ve kaya odası



Şekil 3. İnceleme alanındaki tescilli kaya odası ve karstik mağaralar

İnceleme alanı ve çevresinde yer alan birimler litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bunun sonucunda inceleme alanında yaşlıdan gence doğru Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı yamaç molozlarının yüzeyleme verdiği belirlenmiştir.

3 ÇALIŞMA ALANINDA UYGULANACAK BASAMAK PATLATMASI TASARIMI

Çalışma alanından üretilmesi planlanan volkanik malzeme açık işletme yöntemi ile basamak patlatması uygulanarak üretilecektir.

Patlatma yapılan yerin Kaya Odasına uzaklığı Kaya Odası'nın etkilenmesi açısından önemli bir faktördür. Bunun yanında patlatmanın patlatma tasarımı ve niteliği, patlatma ve delik düzeni, bir seferde ateşlenen patlayıcı miktarı, ateşleme aralığı (gecikme süresi) gibi parametreler de önemlidir.

Çalışma alanında yapılacak olan patlatma tasarımı sayesinde patlatma kaynaklı oluşabilecek etkinin minimum olması amaçlanmaktadır. Taş ocağında uygulanacak patlatma tasarım parametrelerine ait hesaplamalar ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir. Hesaplamalarda Erkoç (1990) tarafından basamak patlatmaları için önerilen formüllerden yararlanılmış ve aşağıda başlıklar altında işlem sırası detaylı bir şekilde verilmiştir.

Açılacak patlayıcı madde deliği ve şev aynası arasındaki maksimum mesafeyi (V_{max}) belirleyebilmek için aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$V_{max} = \frac{D \cdot 45}{1000} \sqrt{\frac{0.4}{c}} \sqrt{\frac{P \cdot s}{1.25}} \sqrt{\frac{1}{f}}$$

Burada; V_{max} : Maksimum dilim kalınlığı (m), D: delik çapı (89 mm), c: kaya katsayısı (Kireçtaşı için 0.320), P: patlayıcı maddenin yoğunluğu (ANFO için 0.85 gr/cm³), s: ANFO'nun güç katsayısı (Dynamex M'e göre 0.96), f: delik eğim katsayısıdır (60° eğimli delik için 1.0). Bu eşitlikten faydalanılarak,

V_{max} , Basamak Yüksekliği (K), Ek Delik Uzunluğu (U), Toplam Delik Uzunluğu (H), Delgi Hatası (F), Gerçek Delik-Ayna Uzaklığı (V), delikler Arası Mesafe (E), Sıkılama Boyu (S), Delik Kesit Alanı (A), Dip Şarj Uzunluğu (L_{dip}), Dip Şarj Miktarı (Q_{dip}), Kolon Şarj Uzunluğu (L_{kolon}), Kolon Şarj Miktarı (Q_{kolon}), Toplam Şarj Miktarı (Q_{top}), Yemleyici Miktarı (Y), Bir Delik İçin Kullanılacak Toplam Patlayıcı Miktarı (Z), Bir Delik Ateşlemesi İle Gevşetilecek Malzeme Miktarı (W), Özgül Delik (I), Özgül Şarj (Q) (1 m³ malzeme üretmek için kullanılacak patlayıcı miktarı) hesaplanmıştır.

Ayrıntılı olarak hesaplanma delme-patlatma tasarım parametreleri Çizelge 1’de özet olarak sunulmuştur.

Çizelge 1. Ocak alanında uygulanacak delme patlatma tasarım parametreleri

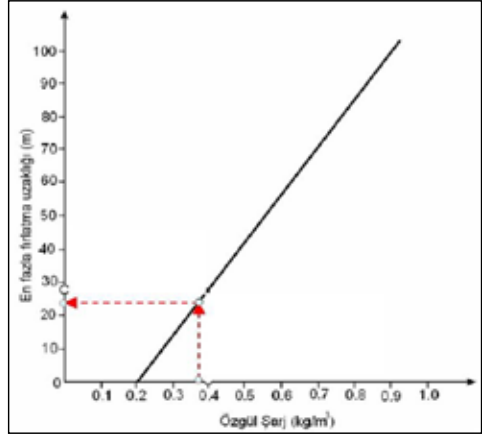
Delik-Ayna Uzaklığı (V_{max})	3.62 m
Basamak Yüksekliği (K)	8 m
Basamak Genişliği	10 m
Alt Delme Uzunluğu (U)	1 m
Toplam Delik Uzunluğu (H)	9 m
Delgi Hatası (F)	0.359 m
Gerçek Delik-Ayna Uzaklığı (V)	3 m
Delikler Arası Mesafe (E)	3.75 m
Sıkılama Boyu (S)	3 m
Delik Çapı	89 mm
Delik Kesit Alanı (A)	62.17 cm ²
Dip Şarj Uzunluğu (L_{dip})	3.9 m
Dip Şarj Miktarı (Q_{dip})	20 kg
Kolon Şarj Uzunluğu (L_{kolon})	2.1 m
Kolon Şarj Miktarı (Q_{kolon})	12 kg
Toplam Şarj Miktarı (Q_{top})	32 kg
Yemleyici Miktarı (Y)	1 kg
Bir Delik İçin Kullanılacak Toplam Patlayıcı Miktarı (Z)	33 kg
Bir Delik Ateşlemesi İle Gevşetilecek Malzeme Miktarı (W)	90 m ³
Özgül Delik (I)	0.1 m/m ³
Özgül Şarj (Q)	0.36 g/m ³

4.PATLATMA KAYNAKLI ÇEVRESEL ETKİLER

4.1. Taşocağında Olası Muhtemel Kaya Fırlamaları

Proje alanında, patlatma sonucu gerçekleşebilecek maksimum kaya fırlamasının mesafesi, özgül şarja bağlı olarak Lundborg vd. (1975) tarafından önerilen aşağıdaki grafik kullanılarak belirlenmiştir. Hesaplanan 0.36 kg/m³ özgül şarj için muhtemel kaya fırlaması mesafesinin yaklaşık olarak 23m olacağı

tahmin edilmektedir. Taşocağı aynasının bulunduğu istikamet ve proje alanı ile en yakın ev arasındaki mesafe dikkate alınırsa patlatma kaynaklı herhangi bir sorunun oluşması mümkün değildir (Şekil 4).



Şekil 4. Özgül şarja bağlı olarak oluşması muhtemel kaya fırlaması mesafesinin kestirilmesi (Lundborg vd., 1975)

4.2. Patlatma Sonucu Oluşacak Titreşimin Belirlenmesi

Kaya Odası ocak alanının yaklaşık 597 m uzağında kuzeybatı yönünde yer almaktadır. Patlatma sırasında oluşacak titreşimin Kaya Odası üzerinde oluşturacağı etkiyi belirlemek için Duvall ve Fogelson (1962) tarafından önerilen ve partikül hızı-ölçeklendirilmiş mesafe ilişkisini dikkate alan aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$V = k \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta}$$

Burada;

V: sismik dalganın yayılma hızı (inch/sn),

R: ateşleme noktasından uzaklık (feet),

W: her bir gecikmeli atımda ateşlenen patlayıcı miktarı (libre),

k ve β : arazi sabitleridir, (Hoek ve Bray (1977) basamak patlatması için k=260, β =1.6 olarak kabul etmişlerdir.).

Değişik yapılarda oluşan hasar için eşik titreşim düzeylerini hesaplama konusunda

araştırmacılar tarafından birçok çalışma yapılmıştır. Çizelge 2’de verilen pik partikül hız kategorileri yer titreşimlerinin kontrol edilmesi gerektiği patlatmaların tasarımı için bir temel oluşturmada güvenli bir şekilde kullanılmaktadır. Tarihi eserler için patlatma durumunda oluşacak hasar etkisinin ne olabileceği hususunda literatürde standardize edilmiş bir sınıflamaya rastlanmamış olup, birçok çalışmada varılan ortak fikir birliği 50 mm/sn’lik bir pik partikül hızı olup, bu değer in altındaki hızlarda çoğu yapılar için hasar riski çok azdır. Ayrıca literatürde İsvç yol inşaatı birliği tarafından önerilen partikül hızı- yapı hasarı tablosunda bizim çalışma konumuzu da yansıtan Kaya Odası (yeraltı kaya mağarası) tanımlamasında titreşim hızı limitleri 70-100 mm/s arasında değişmektedir (Kazaz ve Kazaz, 2015).

Çizelge 2 Pik partikül hızı eşik hasar düzeyleri (Siskind vd., 1976; Stagg vd., 1984)

Hız (mm/sn)	Etki / Hasar
3-5	İnsanlarca algılanabilen titreşim
10	Kötü inşa edilmiş ve eski yapılar için yaklaşık sınır
33-50	İnsanların karşı çıkabileceği titreşimler
50	Hasar riski için sınır değer
125	Hafif hasar, sıvalarda çatlama, önemli şikayetler
230	Beton bloklarda çatlama

Yapılan patlatma hesaplarında yıllık üretim hedefini yakalamak için (150.000 ton) bir patlatmada iki sıra halinde şeş-beş dizilimine göre 20 delikli 2 milisaniye gecikmeli patlatma yapılması önerilmektedir. Bu durumda uygulanan patlatma paternine göre bir delikte kullanılan toplam patlayıcı madde miktarı yapılan hesaplama göre 33 kg’dır. Her bir patlatmada kullanılan toplam patlayıcı miktarı ise (33kg x 20 delik) 660 kg’dır. Her bir patlatmada kullanılan patlatma paterni iki sıradan oluştuğu için aynı anda 2 delik

patlatılacak olup, etkili olacak patlayıcı madde miktarı ise 66 kg dır. Buna göre maksimum patlayıcı miktarı için Kaya Odasında oluşacak titreşim değeri;

$$V = k \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta}$$

$$V = 260 \left(\frac{597/0,3048}{\sqrt{66/0,4536}} \right)^{-1,6}$$

$V = 0.076 \text{ inch/sn} = 22.42 \text{ mm/sn}$ olur.

Patlatmayla oluşacak $V=22.42 \text{ mm/sn}$ ’lik titreşim değeri hasar sınırı olarak kabul edilen 50 mm/sn değerinin oldukça altında bir değer olup, 597 m uzaklıktaki Kaya Odası, ocak alanında yapılacak olan bu çalışmadan olumsuz bir şekilde etkilenmeyeceği görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gümüşhane ili, Kelkit ilçesinde bulunan taş ocağında yapılan patlatmalı üretim çalışmalarında, tescilli İşli Kaya Odasına olumsuz bir etkisinin olup, olmadığını belirlemek için yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Ocak alanı ile Kaya Odası arasındaki mesafe 597 m olup, her iki lokasyon da kireçtaşından oluşan kaya kütlesi içinde yer almaktadır.

2. Ocak alanında basamaklı açık işletme yöntemi ile üretim yapılması planlanmakta olup, Kaya Odasının yapılacak patlatmadan etkilenmemesi ve yıllık üretim hedefini yakalamak için, belirlenen patlatma tasarımında; bir patlatmada iki sıra halinde 20 delik patlatılması, gecikmeli patlatma sisteminin uygulanması ve her bir delikte kullanılan patlayıcı miktarı 33 kg olacak şekilde tasarlanmıştır.

3. Ocak alanında uygulanacak gecikmeli patlatma sisteminde her bir gecikme sırasında iki delik aynı anda patlatıldığında etkili olacak patlayıcı miktarı 66 kg olup, oluşacak sismik dalganın yayılma hızı $V=22.42 \text{ mm/sn}$ dir. Bu titreşim değeri çizelge 2’de hasar sınırı olarak kabul edilen 50 mm/sn değerinin oldukça altında

olduğundan, 597 m uzaklıktaki Kaya Odası, işletme alanında yapılacak olan bu çalışmadan olumsuz bir şekilde etkilenemeyebilir.

4. Ayrıca Jeolojik olarak masif kireçtaşlarından oluşan çalışma alanında, işletilmesi planlanan taş ocağı ile kaya odası arasında üç vadi bulunması ve kireçtaşlarının kalın tabakalı masif bir yapı göstermesi ocak alanında yapılacak olan patlatmaları sönmüleyecek (etkisini düşürecek) bir özelliكتedir. Bu durum yapılan pik partikül hızı hasar değerlendirmesinde elde edilen sonuçları destekler durumdadır.

KAYNAKLAR

- Aldaş G. G. U. ve Bilgin H. A., 2004. Effect of Some Rock Mass Properties on Blasting-Induced Ground Vibration Wave Characteristics , *CM Bulletin*, 7 (.1079), 52-59.
- Bilgin A. , Esen S., Kılıç M., 1998. TKİ Çan Linyit İşletmesinde Patlatmaların Yol Açtığı Çevre Sorunlarının Giderilmesi için Araştırma Nihai Rapor, TKİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ceylanoğlu A., Arpa E., 2001. Belli Bir Kaya Kütleğinde Oluşturulan Yer Sarsıntılarının Ölçümü Ve Değerlendirilmesi, *Türkiye 17. Uuslar arası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAK*.
- Erçikdi B., Kesimal A., Yılmaz A. O., 2004. Saitiy Evaluation Of A Historic Place And School Close To Limiestone Quauy Blasts, Littit National Conjeence SUEM 21, *Modem Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, Bulgaria*. 181-192.
- Erkoç, Ö., Y., 1990. *Kaya Patlatma Tekniğı*, Çeliker Matbaası, İstanbul.
- Hoek E., Bray J.W., 1977. Kaya Şev Stabilitesi, *TMMOB Maden Müh. Odası*, Ankara.
- Kahriman A., Tuncer G., 1999. Prediction of Ground Vibration Produced from Bench *Blasting Proceedings of Twenty-Fifth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, 379-386, Nashville, Tennessee, U.S.A.
- Kazaz İ. ve Kazaz E., 2015. İnşaat Kaynaklı Yer Sarsıntısının Tarihi Yapılara Etkisi, *5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, 1-2 Ekim, 235-249.
- Kesimal A. ve Erçikdi B., 2003. Samsun İli, Bafra İlçesi, Altinkaya Baraj Yolunun 28+500 Km Sinin Sağ Tarafındaki Litrek Kaya Mevkii Taş Ocağının Üretiminde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi, Kalaycıoğlu İnş. *Maden Taahhüt Tie. Ltd. StL.*, KTÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Döner Sermaye Projesi, 40, Trabzon.
- Kesimal A. ve Kaya R., 2002. A Review of Environmental Effects Produced by Quarries for Running Black Sea Coastal Highway Construction Project, *ISWA 2002 World Environment Congress 2 Exhibition*, 2217-2224, İstanbul.
- Koçan N., 2012. Karaca Mağarası'nın (Gümüşhane) Alternatif Turizm Kapsamında Değerlendirilmesi, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3 (1), 37-44.
- Kuntay O., 2004. Sürdürülebilir Turizm Planlaması, *Alp Yayınevi*, 217, Ankara.
- NACS (North American Commission on Stratigraphy), 1983. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Volume: 67, No: 5, 841-875.
- Siskind, D. D., Stachura, V. J. ve Raddiffe, K. S., 1976. Noise and Vibrations in Residential Structures from Quarry Production Blasting. *US Bureau of Mines*, Report of Investigations 8168.
- Stagg, M. S., Siskind, D. E., Stevens, M. G. ve Dowding, C. H., 1984. Effects of Repeated Blasting on a Wood Frame House. *US Bureau of Mines, Report of Investigations 8896*.
- Duvall WJ, Fogleson DE., 1962 Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibration, *USBM-I 5968*
- Yesil P., Yesil M., ve Yılmaz H., 2008. Jeolojik Miras Alanlarının Alternatif Turizm Kapsamında Değerlendirilmesi: Ballica Mağarası Örneğı, *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fak. Dergisi*, 39 (2), 241-248.

Diğer İlgili Konular
(Miscellaneous)

Bond İş İndeksi Tayininde Kullanılan Farklı Yöntemler *Different Techniques Used To Determine Bond Work Index*

A. Aydın

Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

ÖZET Günümüzde ekonomik değer taşıyan cevher rezervlerin ince boyutlarda serbestleşmesi ve bu boyutun gittikçe daha ince tanelere doğru kayması, bu ince taneli cevherlerin tüketim yerlerinin gereksinimine uygun hale getirilebilmesi için zenginleştirilmeleri, ancak zenginleştirmeden önce de boyutlarının küçültülerek serbest hale getirilmeleri gerekmektedir. Cevher hazırlama tesislerinde en fazla enerji tüketimi ufalama makinalarının bulunduğu bölümde olmaktadır. Bu durum ise ufalama işleminin her geçen gün daha önemli hale gelmesine neden olmaktadır. Ufalama terimi kırma ve öğütme işlemlerini içine almaktadır. Dolayısıyla cevherlerin öğütülebilirlik değerlerine bağlı olarak kırıcı ve öğütücülerin seçilmesinde kullanılan yöntemlerin bilinmesi gerekmektedir.

Cevher hazırlama tesislerinde; Bond İş İndeksi, öğütme devrelerinin tasarımında, ele alınan bir cevher için gerekli değirmen boyut ve güç gereksiniminin belirlenmesinde ve çalışan devrelerin performansının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu iş indeksi ise pek çok farklı yöntemlerle saptanmaktadır. Ancak, bu yöntemlerin birbirlerine göre farklı, İndeksi'nin belirlenmesinde uygulanan sürenin kısaltılması yönünde yapılan çalışmalardır.

ABSTRACT Mineral processing, especially the comminution stage, is carried out for recovering economically valuable mineral resources at much more finer-grained sizes than ever before. This single stage requires a huge amount of energy consumption which contributes total operating cost significantly. The effect of mineral comminution process which consists of both crushing and grinding processes is becoming much more significant. Therefore, the liberation methods for fine-sized ore minerals should be evaluated appropriately to select and design the optimum types and capacities of both crushing and grinding equipments.

1 GİRİŞ

Malzemelerin öğütülmesi için gereken enerjinin saptanmasında, söz konusu cevher için gerekli değirmen boyutu, öğütme devrelerinin tasarımında F.C. Bond'un 1930'lu yıllarda geliştirdiği ve

1952 yılında "Bond İş İndeksi" olarak belirlediği "Bond Kapalı Devre Bilyalı ve Çubuklu Değirmen Öğütülebilirlik" yöntemleri kullanılmaktadır (Sönmez ve Demirel, 2000).

Günümüzde ekonomik değer taşıyan cevherlerin tane boyutlarının tüketim

yerlerinin gereksinimine uygun hale getirilebilmesi, serbestleşme boyutlarının daha ince tanelere doğru gitmesi, ufalamanın her geçen gün daha önemli hale gelmesine neden olmaktadır. Cevher hazırlama tesislerinde en fazla enerji tüketimi ufalama makinalarının bulunduğu bölümde olmaktadır. Bir cevher hazırlama tesisinin sadece ufalama ünitesinde tüketilen enerji %40 civarındadır (Hacıfazıoğlu, 2015). Öğütülebilirlik değerlerinin bilinmesi ve buna bağlı olarak kırıcı ve öğütücülerin seçilmesi için en çok kullanılan yöntem Bond Öğütülebilirlik Testi'dir (Babu ve Cook,

1973). Bond Öğütülebilirlik Testi ile öğütmede harcanan enerji hesaplanabilmekte, bulunan enerji değerinden yararlanılarak, endüstriyel ölçekte değirmenlerin boyutlandırılması için gereken enerji sarfiyatı bulunabilmektedir (Deniz vd., 1996).

Bond Yöntemi'nin uzun yıllardan beri kullanılması nedeniyle, endüstriyel bir standart haline gelmesi, uygulamada tatminkar sonuçlar vermesi nedeniyle günümüzde de endüstriyel konumunu muhafaza etmektedir (Ersayın ve Kırşan, 1995). Bond Yöntemi'nin olumlu yönlerine rağmen işlemin özel bir değirmende yapılması, uzun ve yorucu deneysel çalışmalar gerektirmesi, elek analizi esasına dayanan bir dizi çalışmalar gerektirmesi, ayrıca tecrübeli elemanlara ihtiyaç duyulması yöntemin dezavantajlarından. Bu dezavantajların ortadan kaldırılabilmesi, özellikle iş indeksinin daha hızlı yöntemlerle saptanabilmesi için çok sayıda araştırmacı tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Ersayın ve Kırşan, 1995; Özer ve Çabuk, 2006).

Bu çalışmaların bazılarında standart Bond Değirmeni kullanılmış, bazılarında ise farklı tip laboratuvar değirmenleri kullanılmıştır (Özer ve Çabuk, 2006).

Bond İş İndeksi'nin daha kısa yollardan saptanması için yapılan araştırmalardan bazıları; Smith ve Lee (1968), Kapur (1970), Host ve Bassarear (1976), Karra (1981), Yap ve diğerleri (1982), Armstrong (1986), Deister (1987), Magdalinovic (1989), Köse ve Koç (1990), Lewis ve diğerleri (1990), Deniz ve diğerleri (1996), Berry ve Bruce (1996), Aksani ve Sönmez (2000), Nitta ve diğerleri (2002), Deniz ve Özdağ (2003), Özkahraman ve Şirin (2005) tarafından yapılan çalışmalardır (Özer ve Çabuk, 2006).

Bu çalışmada, cevher hazırlama tesislerinin kırma ve öğütme devrelerinde

harcanan enerjinin minimuma indirilmesi için farklı yöntemlerle Bond İndeksi'nin saptanması araştırılmıştır.

2 YÖNTEMLER

İş indeksi, cevherin öğütülebilirlik özelliğine bağlı, değirmenlerin boyutlandırılmasında, enerji tüketim hesaplamalarında, öğütme devrelerinin verimliliğinin belirlenmesinde kullanılan bir proses parametresidir. İş indeksi, cevher hazırlamada sürekli araştırma konusu olmuş, her laboratuvar şartlarında yapılabilen basit, hızlı ve doğru sonuç veren test yöntemleri araştırılmıştır. Bond'un 1952 yılında iş indeksini belirlemek için geliştirdiği yöntem ve uyguladığı eşitlikler, bugün de geçerliliğini korumakta, diğer yöntemler için referans olmaktadır.

Bu araştırma kapsamında, Bond Yöntemi, Berry ve Bruce Yöntemi, Smith ve Lee Yöntemi, Horst ve Bassarear Yöntemi, Kapur Yöntemi, Karra Yöntemi, Yashima Yöntemi, Anaconda Yöntemi, Hardgrove Yöntemi, Magdalinoviç Yöntemi, US Breau of Mines Yöntemi ve F.L Smith Yöntemi hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

2.1 Bond Yöntemi

Bond Yöntemi ile iş indeksinin belirlenmesi için yapılan testte -6 mesh'e kırılmış malzeme kullanılır. Bazen test edilecek malzeme boyutu daha küçük olarak da alınabilir.

-6 mesh'e kırılmış malzemenin öncelikle elek analizi ile tane boyut dağılımı belirlenir. Elek analizi belirlenmiş bu malzeme ile 1000 cc'lik ölçülü bir kabın 700 cc'lik kısmı, 30 sn süre ile titreşimli bir sistemde sıkıştırılarak doldurulur. Test için hazırlanmış bu malzeme tartılır.

Testte kullanılan Bond Değirmeni'nin boyutları 30,5Lx30,5D cm'dir. Değirmenin astarları düz, köşeleri yuvarlatılmış olup gövdesi üzerinde

malzeme ve öğütücü şarjı yapılabilmesi için bir kapak bulunur. Değirmen içinde öğütücü olarak 43 adet 3,68 cm, 67 adet 2,97 cm, 10 adet 2,54 cm, 71 adet 1,90 cm, 94 adet 1,55 cm çaplarında bilyalar kullanılır. Test değirmeninin dönüş hızı 70 d/d dir.

$$W_i = \frac{44,5}{P_c^{0,2} G^{0,8} \left(\frac{10}{P^{\frac{1}{2}}} - \frac{10}{F^{\frac{1}{2}}} \right)}$$

Bu eşitlikte;

W_i : Bond iş indeksi, kWh,

P_c : Test eleği elek açıklığı, μ m,

G : Bond öğütülebilirlik katsayısı, gram/devir,

F : Beslemenin %80'ninin geçtiği elek açıklığı, μ m,

P : Son üç öğütme evresinde elde edilen elek altı ürünün %80'ninin geçtiği elek açıklığı, μ m.

Değirmen içindeki bilya dağılımının homojen olmaması nedeni ile her tur öğütme için gerekli iş miktarı, yaş öğütmeye göre yaklaşık 1,3 kat daha fazladır (Bond, 1960).

2.2 Berry ve Bruce Yöntemi

Yöntem, iş indeksi tespit edilecek numunenin, bir referans numunesi ile aynı şartlarda test edilerek karşılaştırılması esasına dayanır (Berry ve Bruce, 1966). Test için, $D=30,5$ cm normal laboratuvar değirmeni ve -10 mm boyutunda cevher kullanılır. 2 kilogram test edilecek cevher ve iş indeksi daha önce bilinen test numuneleri, değirmende aynı miktar, süre ve şartlar istenilen boyuta kadar yaş olarak öğütülür.

Öğütme sonunda, test ve referans numunelerinin elek analizleri yapılır. Her iki numune için de P_{80} ve F_{80} değerleri tespit edilir. Öğütme, aynı süre ve şartlarda yapıldığı için her öğütmede harcanan enerji miktarları birbirine eşit

veya çok yakın olacaktır. Bu yaklaşımla aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$W_{i_n} \cdot (11/\sqrt{P_{i_n}} - 11/\sqrt{F_{i_n}}) = W_{i_r} \cdot (11/\sqrt{P_{i_r}} - 11/\sqrt{F_{i_r}})$$

W_{i_n} : Numunenin iş indeksi, kWh/t,

W_{i_r} : Test numunesinin iş indeksi, kWh/t,

Bu eşitlikten tek bilinmeyen W_{i_n} değeri hesaplanabilir.

Yöntem, hızlı olmasına karşı hassas değildir.

2.3 Smith ve Lee Yöntemi

1968 yılında Smith ve Lee iş indeksi hesaplamalarında Bond'un orijinal iş indeksi eşitliğini kullanmışlardır.

$$W_i = \frac{16}{G_{bp} x^{0,8} x \sqrt{P_1}} \sqrt{P_1}$$

Bu eşitlikteki P_1 değeri test öncesi elek analizlerinden belirlenir. Eşitlikteki G_{bp} değerinin belirlenmesi gereklidir. Smith ve Lee, sekiz değişik malzemenin, değişik boyutlarda Bond Değirmeni kullanarak yaptıkları testlerde, malzemelerin çeşitli mesh boyutlarında Bond öğütülebilirlik değerlerini tespit etmişlerdir. Bond Değirmeni kullanarak aynı malzemelerin aynı öğütme şartlarında, karşılık gelen değişik mesh boyutlarında yapılan testlerle öğütülebilme değerleri de belirlenmiştir. İnce öğütmede ve 300 devirin altında yapılan test sonuçlarında iki öğütülebilme değeri arasında doğrudan bir bağıntı kurulmuştur. Bu bağıntı kullanılarak yaklaşık bir öğütülebilme değeri belirlenmiştir. P_1 ve G_{bp} değerleri yukarıdaki eşitlikte yerine konularak W değeri hesaplanmıştır (Smith ve Lee, 1968).

Test edilecek numuneler arasında bağıntı kurulabilmesi için kullanılan düzeltme eğrisinin çizildiği malzeme ile test malzemesinin birbirine benzemesi gerekir. Malzemelerin mineralojik yapısı ve

mineralojik yapı içinde tane dağılımı heterojen ise yeniden bir düzeltme eğrisi çizilmelidir. Bunun için yöntem, düzeltme eğrisinin çiziminde kullanılan malzeme yapısına benzeyen numunelerin öğütülebilirlik değerlerinin tespitinde kullanılabilir. Bu yöntem için Bond Değirmeni kullanılır. Yöntemden hızlı sonuç alınmasına karşın, sonuçtaki sapmalar yüksektir.

2.4 Horst ve Bassarear Yöntemi

Bu yöntem 1976 yılında geliştirilmiştir. Yöntem için herhangi bir laboratuvar değirmeni kullanılır. Bu değirmende -10 mesh 1000 gram W_i değeri bilinen referans numunesi istenilen boyuta kadar, her biri 1000 gram olan aynı boyut dağılımındaki üç adet test numunesi de aynı şartlarda değişik sürelerde öğütülür.

$$\ln C_i = \ln C_{0i} - k_i \times t$$

C_i : Belirlenmiş elek üstü kümülatif malzeme miktarı, %,

C_0 : t=0'daki Q değeri, %,

t: Öğütme zamanı, dakika,

k_i : Belirlenen elek üstü malzemenin küçültme katsayısı zamana karşı, malzemenin kümülatif elek üstü eğrisi çizildiğinde, eğrinin eğiminin belirlediği değişik boyut aralıklarındaki k değerleri tespit edilir.

Test numunesinin, öğütme sonrası bilinmeyen boyut dağılımı, teorik olarak yukarıdaki eşitlikten hesaplanarak P_t değeri belirlenir. İş indeksinin hesaplanmasında da aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$W_t \cdot (10/\sqrt{P_t - 10/\sqrt{F_t}}) = W_r \cdot (10/\sqrt{P_r - 10/\sqrt{F_r}})$$

t: Test numunesi,

r: Referans numunesi.

Bu eşitlikteki F'ler, referans ve test

numunesi için birbirine eşit alınarak W_i değeri bulunur. Yöntem hassas olmasına karşın referans cevher ve test için uzman gerektirmektedir (Horst ve Bassarear, 1976).

2.5 Kapur Yöntemi

Bu yöntem Bond öğütülebilirlik testinin değişik bir uygulamasıdır (Kapur, 1970). R; öğütme sonrası test eleği üstü, M; test malzeme miktarı, r; test malzemesindeki elek üstü malzemesi olarak alındığında aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$R = r \times M \times \sqrt{O}(t)$$

Bu eşitlikte O; t zamanına, test malzemesindeki boyut dağılımına ve kırma parametrelerine bağlı bir fonksiyondur.

Kapur, Bond Yöntemi'nin ilk iki basamağından Bond İş İndeksi'nin tespit edilmesinin mümkün olduğunu savunmuştur.

Bond Yöntemi'nin ilk basamağında;

$$R_1 = rM_1 \exp(G_1 \times t_1)$$

Bond Yöntemi'nin ikinci basamağında;

$$R_2 = r.M_1.\exp(G_1 \times t_1 + G_2 \times t_2) + r M_2 \exp(G_2 \times t_2)$$

Bu eşitliklerde; M_1 ve M_2 , sırası ile testin ilk ve ikinci basamaklarında test malzeme miktarı, t_1 ve t_2 öğütme zamanları, G_1 ve G_2 öğütme parametreleridir.

$$G_{bp} = -rxM_1 \times G \times A$$

Bu eşitlikteki A değeri:

$$A = \frac{2,5}{3,5} \times \left(\frac{G^1}{rG} - 1 \right) + 1$$

Eşitlikteki G^1 , Bond Yöntemi'nde devreden yükü, G ise y malzemesinin öğütme parametresini göstermektedir.

Yöntemde P ve F değerleri önem taşımamaktadır. İş indeksi Bond'daki eşitlikten hesaplanır.

$$W_1 = 2,648 \times (P_1)^{0,406} \times (-G_2)^{0,810} \times (rM_1)^{0,853} \times (1-r)^{0,099}$$

P_1 : Test elek açıklığı, μm .

Yöntemde Bond Değirmeni kullanılır ve yöntemin uygulanmasını deneyimli eleman gerektirir. Bazı cevherlerde yüksek sapmalar meydana gelebilmektedir.

2.6 Karra Yöntemi

Karra, Kapur Yöntemi'nde bazı değişiklikler önermiştir (Karra, 1981). Bond Yöntemi'nde, kolay öğütülen malzeme kolayca elek altına geçecek, öğütülmeyen kısım elek üstünde kalarak devreden yükü oluşturacaktır. Devreden yükün de, Bond Yöntemi'nin ilerleyen basamaklarında öğütülebilmeyi azaltacağı savunulmuştur. Bunun için, birinci ve ikinci öğütme basamakları sonrası G_{kr} öğütülebileme değeri tespit edilir.

W_i değeri Berry ve Bruce yöntemindeki eşitlikten hesaplanır.

$$W_i = 9,934 \times (P_1)^{0,308} \times (G_{kr})^{-0,696} \times (F)^{-0,125}$$

G_{kr} : Karra öğütülebileme değeri,

P_1 : Test elek açıklığı, μm ,

F : Test numunesi F_{80} değeri, μm .

Bu yöntemde Bond Değirmeni kullanılır.

2.7 Yashima Yöntemi

Yashima ve arkadaşları, iş indeksi değerini yeni bir yaklaşım ile hesaplamışlardır. Boyutsal analiz kullanarak yedi kırılmalık malzemenin mekanik yapısı ile iş indeksi arasında aşağıdaki bağıntıyı kurmuşlardır (Yashima, 1970).

$$\frac{W_i}{S} = 1,1 \frac{\left(\frac{Y_1}{S_1}\right)^{0,35} \times (Br)^{0,15} \times (1 - V^2t)^{0,20}}{1,56 \times 10^5 \times (Rc)^{0,09} \times (Rt)^{0,48}}$$

W_i : İş indeksi, kWh,

d : Yoğunluk, g/cm^3 ,

B : Kırılmalık modülü,

S : Gerilme kuvveti, kg/cm^2 ,

Y_1 : Young modülü, kg/cm^2 ,

V : Poisson oranı,

R_c : Silindirik numunenin çatlaması ile oluşan alan,

R_t : Küre numunenin yavaş basma kuvveti sonucu oluşan çatlama alanı.

Yöntemin, sonuç almak için detaylı bir çalışma gerektirdiğinden uygulanırlığı azdır.

2.8 Anaconda Yöntemi

Bu yöntem, Berry-Bruce ve Horst-Bassarear yöntemlerine benzemektedir. Testte, referans numunesi yerine, iş indeksi bilinen birkaç cevher ile kalibre edilmiş normal laboratuvar değirmeni kullanılır. İş indeksi, test sonucunda standart testler ile belirlenmiş iş indekslerine göre yapılan hesaplamalarla belirlenir. Yapılan testlerin sonuçlarından, kullanılacak matematiksel bağıntılar kurulabilir. Bu ilişkiler genellikle sabit kalmakta ve daha sonra yapılan iş indeksi hesaplamalarında da kullanılmaktadır.

Her cevherin, kırılma ve öğütülme karakterleri, test için alınan belirli bir elek altı numunelerinde de boyut dağılımı değişiktir. Anaconda Yönteminde test edilecek malzeme -10 mesh'e kırılıp -100 meshlik kısmı kuru olarak elenip ayrılır. Test malzemesindeki -100 mesh'lik kısım % 3'ü geçmemelidir. Test için 25,0 D x 21,0 L cm. boyutlarında laboratuvar değirmeni kullanılır.

Değirmenin test dönüş hızı 92 d/d olup bu hız kritik hızın %96'sına karşılık

gelmektedir. Hazırlanmış -10+100 mesh 1 kilogram test numunesine 1 kilogram su ilave ederek, %50 su + %50 katı oranında 10 dakika öğütülür. Öğütülen malzemenin elek analizi yapıp P_{80} değeri tespit edilir. Sonuçlardan Bond İş İndeksi ile aşağıdaki matematiksel bağıntı kurulur.

$$W_i = CxW_{i0} = (Cx E_0)/10x[(1/\sqrt{P})-(1/\sqrt{F})]^{-1}$$

E_0 : Net özgül test enerjisi, kWh,

C: Oransal sabit,

A = (C x E_0) / 10 olarak alındığında aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$W_i = A(1/\sqrt{P}) - (1/\sqrt{F})^{-1}$$

A: Anaconda değirmen kalibre sabiti.

A değerinin tespit edilebilmesi için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$A = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} \left(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right)_j^{-1}}{\sum_{j=1}^n W_{ij} \left(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right)_j^{-2}}$$

A değeri, özgül test enerjisinin oransal sabit ile çarpımının 1/10 na eşittir. Anaconda Araştırma Laboratuvarında yapılan testlerde A değeri 0,5031 olarak tespit edilmiştir.

2.9 Hardgrove Yöntemi

Yöntemde, 2,54 cm çapında bilyaların hareket ettiği 8 adet bilya yuvasından oluşan laboratuvar değirmeni kullanılır. Bilyaların çap merkezleri arasındaki mesafe 7,62 cm'dir. Test edilen malzeme boyutu -1190+590 μ m'dir. Bu malzemenin 50 gram alınarak değirmen 60 devir döndürülür ve sonra 74 μ m'lik elekten elenir. Elek altı belirlenir ve malzeme öğütülebilirlik değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$H = 13 + 6,93xD$$

H: Öğütülebilirlik

D: Elek altı malzeme miktarı, g.

H'nin yüksek olması, malzemenin kolay öğütülebilir olmasını ifade eder. Bu yöntem ile genellikle kömürün öğütülebilirlik değeri ölçülür. Özelliği bilinen bir kömürün H değeri baz alınarak değerlendirme yapılabilir. Basit bir yöntemdir. Bu yöntemin eksikliği, öğütme için gerekli enerjinin tespit edilememesidir. Bond yapmış olduğu bir çalışma sonucu, iş indeksi ile Hardgrove İndeksi arasında aşağıdaki bağıntıyı belirlemiştir (Bond, 1960).

$$W_i = 435/ (Hx0,91)$$

2.10 Magdolinovic Yöntemi

Yöntem, Bond Yöntemi'nin iki öğütme evresinde sonuçlanan bir uygulamasıdır. Bu amaçla, test eleği açıklığından % 71,4'ü büyük, % 28,6'sı küçük boyutta test malzemesinden oluşan karışım, herhangi bir devirde, örneğin $n_t=50$, 100 veya 150 devir, döndürülerek değirmende öğütülür. Test malzemesi ve test sonuçlarından, kinetik parametre k ve ikinci öğütme evresi için devir sayısı n_d değerleri

aşağıdaki iki denklemden hesaplanır.

$$k = [n(\ln R_0 - \ln R)]/n_t$$

$$n_d = n_x[\ln(1 + 0.4R_0)]/k$$

k: Kinetik parametre,

n : Değirmenin dönüş hızı, d/d,

n_t : İlk öğütme evresindeki değirmenin devir sayısı, devir,

R_0 : Başlangıçta test eleğinden iri boyuttaki malzeme miktarı, g,

R: Öğütme sonrası test eleğinden iri boyuttaki malzeme miktarı, g,

n_d : İkinci öğütme evresi için devir sayısı, devir.

Bu eşitliklerdeki n değeri, standart Bond Değirmeni'nde 70 d/d'dır. İkinci öğütme

evresinde de hazırlanmış test malzemesi kullanılır. n_d devirli ikinci öğütme evresi sonrası, elek üstü yaklaşık % 71,4'e eşittir. Test sonunda ikinci öğütme evresinde, elek altının boyut dağılımı belirlenmekte ve Bond öğütülebilirlik değeri aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır.

$$G_{bp} = \{m - [0,286 \times M(1 - rD)]\} / n_d$$

G_{bp} : Bond öğütülebilirlik değeri, gram/devir,

m : İkinci öğütme evresi sonrası elek altı %'si,

M : Öğütülen cevher ağırlığı, g.

İş indeksi, öğütülebilirlik değerinin Bond İş İndeksi formülündeki eşitliğin aynısı kullanılarak hesaplanır. Bu yöntemin ikinci devir sayısı n_d , standart Bond Yöntemi'nin başlangıç devri olarak kullanılması ile standart Bond Yöntemi'nin kısaltılabileceği savunulmaktadır (Magdolinovic, 1989; Ercayın ve Kırşan, 1995).

2.11 US Breau of Mines Yöntemi

Genel olarak bu yöntemle, kömürlerin öğütülebilme özellikleri tespit edilir. Bu testte, 20,3L x 20,3D cm. boyutlarında laboratuvar değirmeni içine, eşit aralıklı 11 mm² alanında 3 adet çıkıntı yerleştirilmiştir. Testte 100 adet 25,4 D mm çapında bilya ve 500 gram 12-200 mesh boyut aralığında malzeme kullanılır.

Testte öğütülebilirlik indeksi, malzemenin %80'inin 200 meshe öğütülebilmesi için gereken toplam devir sayısı olarak ifade edilir.

Öğütme indeksi = 50. 000/Devir sayısı ifadesinden,

Malzemenin öğütülebilirlik indeksi hesaplanır.

2.12 F.L Smith Yöntemi

Bu testte, 50L x 50D cm boyutlarında 45 d/d hızla dönen dalgalı astarlı laboratuvar

değirmeni kullanılır. Testte, öğütme 3 kademe yapılmakta, her kademe değişik öğütücü ortamlar kullanılmaktadır.

Test için 12-15 mm boyutlarında numune, 105°C derecede kurularak hazırlanır. Öğütme ilk öğütme kademesinde elde edilen malzeme, bir sonraki öğütme kademesinde kullanılmaktadır.

İlk kademe öğütmede, 17 kilogram malzeme, öğütücü ortam ile öğütülür. İlk testte, değirmenin devir sayısı olarak herhangi bir değer seçilir. Test sonunda

devir sayısı ve harcanan enerji belirlenir.

Malzeme elenir, ilk kademe öğütme sonucu, malzemenin %85'i -0,5 mm olacak şekilde hedeflenerek sonraki test devir sayıları tahmini olarak seçilir. Her test sonrası da değirmenden çıkan malzemenin 8 mm, 4 mm, 2 mm eleklerle ve ayrıca 2 mm elek altından 100 gram malzeme alınarak elek analizi yapılır.

İkinci kademe öğütmede, birinci kademe sonrası %85'i -0,5 mm'ye öğütülmüş malzemenin 16 kilogramlık -2 mm'lik kısmı kullanılır. Değirmendeki öğütme ortamı, değiştirilir. Malzeme, %85'i -0,25 mm olacak şekilde, birkaç kademe öğütülür. Her kademe sonrası elek analizleri ve harcanan enerjiler kayıt edilir.

Üçüncü kademe öğütmede silpeps ve ikinci kademe sonrası 15 kilogram malzeme kullanılır. Malzemenin %95'lik kısmının 90 µm'nin altına öğütülmesi hedeflenir. Her öğütme basamağı sonrası, devirle birlikte harcanan enerji ve elek analizleri belirlenir.

Test sonrasında elde edilen sonuçlar, öğütme devirleri, harcanan enerji, kümülatif enerji, elek analizleri, çizelge ya da grafik olarak çizilir. Çizelge veya grafiklerden, istenilen boyutta bir öğütme için gerekli enerji tespit edilir (Smith ve Lee, 1968).

3 SONUÇLAR

Cevher hazırlama tesislerinde en fazla enerji, ufalama işlemlerinin yapıldığı kısımda harcanmaktadır. Dolayısıyla ufalama maliyetlerinin minimum seviyede tutulması, ufalama makinalarında harcanan enerjiye sıkı sıkı bağlıdır. Kırma ve öğütme işlemlerinde az enerji harcanması bu işlem için kullanılacak makinaların seçimine bağlıdır. Bu makinaların seçimi cevherlerin öğütülebilirlik derecelerinin iyi bilinmesine dolayısıyla Bond İş İndeksi'nin bu seçim öncesinde saptanmasına bağlıdır. Bu araştırmada, Bond Testleri'nin kısa yoldan saptanmasıyla ilgili bazı örnek yöntemler verilmiştir. Bond İş İndeksi'nin kısa yoldan saptanması için çok sayıda araştırmacı günümüzde de çalışmalarını sürdürmektedir. Bu derlemede belirtilen çalışmalara, daha sonra yapılacak olan çalışmalara kaynak teşkil etmesi düşüncesiyle yer verilmiştir.

KAYNAKLAR

Sönmez,B.,Demirel,H.,1992. Benzetim kullanılarak Bond Öğütülebilirlik Testi'nin basitleştirilmesi, *IV. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 66-82.

Hacıfazıloğlu,H., 2015.Tesislerde öğütme ve enerji tüketim ilişkisi, *Öğütme teknolojileri ders notu*, İstanbul Üniversitesi.

Babu,S.P.,Cook,D.S.,1973.Breaking, crushing and grinding, *SME Mining Engineering Handbook*, Volume 2,AIMMPE,Inc, New York.

Deniz, V., Balta, G., Yamık, A., 1996.The interrelation ships between Bond Grindability of coals and impact strength index, point load index and friability index. *VI.International Mineral Processing Symposium*

Changing scopes in mineral processing. Editors:Kemal, Arslan, Akar & Canbazoğlu, pp 15-19.

Ersayın, S., Kırşan, H., 1995. Bond İş İndeksinin hızlı belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması. *Türkiye 14. Madencilik Kongresi*, 357-364.

Özer, Ü., Çabuk, E., 2006. Bond İş İndeksi ile kaya parametreleri arasındaki ilişki. *İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C 20, S 1,43-49.

Bond, F.C., 1960. Three principles of comminution. *Min.Cong.I. Aug.*,53-56.

Berry,T.F., Bruce,R.W., 1966. A Simple method of determining the grindability of ores. *Can. Min. J.* 87, 63-65.

Smith, R.W., Lee, K.H., 1968. A Comparison of data from Bond Type closed circuit and Batch Type grindability tests. *Trans. SME-AIME*, 241; 99-101.

Horst,W. E., Bassarear, 1976. Use of simplified ore grindability technique to evaluate plant performance.*Trans.SME-AIME* 260; 348-351.

Kapur, P. C., 1970. Analysis of the Bond Grindability Tests. *Trans. IMM* 79;103-108.

Karra, V.K.,1981. Simulation of Bond Grindability Tests. *Cim. Bulletin* 74, No. 827;195-199.

Yashima, S.,1970. On the relation of work index and mechanical properties of brittle materials. *Kagaku Kogaku* 34,No.11, 1199-1205.

Magdolinovic, 1989. A procedure for rapid determination of the Bond Work Index. *Int. J. of Mineral Processing* 27, 125-132.

Kalsit Madenciliğinin Mevzuattaki Gelişimi ve Sektördeki Durumu

Development in the Legislation and Situation in the sector of Calcite Mining

B.G.Demir, A.Akbulut, N.Güngör
Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

ÖZET Kalsit, önemli bir endüstriyel hammaddedir, önemi ve değeri son yıllara kadar yeterince anlaşılamamıştır. Kalsit, 29/12/1999 tarihinde 3213 sayılı Maden Kanunu kapsamına alınmıştır. Bu tarihe kadar, ruhsat güvencesi olmadan ve gerekli önem verilmeden Taşocakları Nizamnamesine tabi olarak üretilmiştir. Kalsit madenciliği, son on yedi (17) yıllık (1999-2016) zaman diliminde madenciliğin önemli alt sektörlerinden biri olmuştur. Maden Kanunu kapsamına alınmasından sonra ruhsat güvencesi getirilerek, kalsit yatırımlarında artış meydana gelmiştir. Yaşanan gelişmeler kalsitin ve ülkemizin lehine devam etmektedir. Niğde, Balıkesir, Çanakkale, Eskişehir, Kırşehir, Kırıkkale, Muğla, Aksaray kalsit üretimi ve madenciliğinde ülkemizde ilk sıralarda yer almaktadır. Bu yazıda, kalsit, maden mevzuatında II (a) ve II (c) grubunda değerlendirilmesi yönüyle dikkate alınmıştır.

ABSTRACT Calcite is an important industrial raw material and the importance and value of calcite poorly understood until recently. Calcite has been included in Mining Law no 3213 on 29/12/1999. Until that date, calcite had been produced by under obsolete "Rock Quarry Regulations without license insurance and necessary attention. Calcite mining has been one of the most important sub-sector of the mining the last seventeen years. After the calcite come under the Mining Law No 3213 because of that the licenses can be hold by the sector's firms, many company made investment this in the sector. Developments continue to favor our country and calcite. Niğde, Balıkesir, Çanakkale, Eskişehir, Kırşehir, Kırıkkale, Muğla Aksaray is the first state in mining and producion of calcite in our country. In this article, calcite has been taken into account in group of II (a) and II (c) in mining law.

1 GİRİŞ

Kalsit, kalsiyum karbonat kayaçları oluşturan bir mineral olup, çok önemli bir kalsiyum karbonat mineralidir. Bu mineralin kimyasal yapısı CaCO_3 'dur. Saydam ve renksiz bir görünüme sahiptir. Kolay öğütülmesi sonucunda beyaz renkli toz elde edilmektedir. Sertliği Mohs sertlik skalasına göre 3, yoğunluğu ise 2,6-2,7 arasındadır.

Kristal yapısının mükemmelliği ve yüzeylerine paralel dilimler göstermesi nedeniyle geçmişte de çok ilgi çeken bir mineral olmuştur.

Kalsit öğütüldükten sonra, beyazlık, ucuzluk ve kendine has özellikleri nedeniyle boya, kağıt, plastik v.b. birçok sektörde mümkün olduğu kadar fazla kullanılan bir dolgu maddesidir. Ayrıca, kalsit çevreye en az zarar veren minerallerden birisidir ve bu

yönüyle birçok ülkede zenginleştirmek için toprağa katılmaktadır. Ayrıca kirlenen göllerin asiditesini düşürmek için de kullanılabilir. Kalsit, sanayi toplumlarında, ne kadar çok tüketilirse sanayiinin o kadar gelişmiş olduğunun göstergesi olduğu düşünülmektedir (DPT, 2001).

Türkiye’de bulunan kalsit oluşumları kalitesi ve rezervleri bakımından oldukça önemlidir. Son yıllarda yabancı kuruluşlar yatırımlara ve araştırmalara başlamıştır. 1980’li yıllarda 2-3 olan üretici sayısı günümüzde yaklaşık 20 olmuştur. Türkiye kalsit tüketimi ise son yıllarda hızla artmaktadır. Bu yazıda kalsit, maden mevzuatında II. grup madenlerin (a) ve (c) bentlerinde yer alması yönüyle dikkate alınarak genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2 KALSİTİN MADEN MEVZUATI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1 Tarihi Süreç

Türkiye’de, Maden Kanununun yayımına kadar geçen süre içerisinde madenler Taşocakları Nizamnamesine göre aranmış ve işletilmiştir. 1985 yılında Maden Kanununun yürürlüğe girmesinden sonra 2004 yılına kadar bazı madenler yine Maden Kanunu kapsamında değil, Taşocakları Nizamnamesine dayalı olarak işletilmiştir.

Taşocakları Nizamnamesi döneminde, hammadde temini için gerekli olan ruhsat güvencesinin tam anlamıyla bulunmaması nedeniyle, yatırımlarda önemli bir ilerleme kaydedilememiş ve bu alanda bir boşluk oluştuğu düşünülmüştür. Kalsitin Maden Kanunu kapsamına alınması hususunda bazı girişimler yapılmış ancak uzun süre gerçekleştirilememiştir. Buna dayalı olarak modern anlamda işletmecilik yapılamamış ve tesisler kurulamamıştır. Bu hammadde temini için ana güvence olan ruhsat güvencesinin birçok alanda dile getirilmesi neticesinde, 29/12/1999 tarihli ve 23921 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan 99/13682 sayılı Bakanlar Kurulu kararında yer alan “..... kırılarak ve/veya öğütülerek

kullanılacak olan kalsitin mermer ruhsatına tabi madde olarak, Kararnamenin yayımlandığı tarihten itibaren yapılan arama ruhsatı müracaatlarına hak verilmek üzere Taşocakları Nizamnamesine göre doğmuş haklar saklı kalmak şartıyla 3213 sayılı Maden Kanunu kapsamına alınmaları” hükmü gereği kalsit, Maden Kanunu kapsamına alınmış ve bu maden için kanun normunda en üst düzeyde ilk kez düzenleme yapılmıştır.

Sonraki yıllarda 05.06.2004 tarihinde yayımlanan 5177 sayılı Kanun değişikliği ile, Maden Kanununun 2. maddesinin II. grup madenler alt başlığında kalsit; “mermer, dekoratif taşlar, traverten, kalker, dolomit, kalsit, granit, siyenit, andezit, bazalt ve benzeri taşlar” şeklinde yer almıştır.

10/06/2010 tarih ve 5995 sayılı Kanun ile Maden Kanununda yapılan değişiklik ile agrega/mıcır madencilik açısından yeni bir anlayış öngörülerek, II. grup madenler (a) ve (b) bentlerine ayrılmıştır. II (a) grubu madenler: “kalsit, dolomit, kalker, granit, andezit, bazalt gibi kayalardan agrega, mıcır veya öğütülerek kullanılacak kayalar” olarak belirtilmiştir.

Son olarak, 18/02/2015 tarihinde 6592 sayılı Kanun ile Maden Kanununda yapılan değişiklik sonucu II. grup madenlere (c) bendi de eklenmiş olup, kalsit agrega olarak değerlendirilecek ise (a) bendinde, kireç, çimento ve öğütülerek kullanılacak ise (c) bendinde yer almıştır.

Kalsit yıllar içerisinde maden mevzuatına alınarak, yapılan düzenlemelerle ruhsat ve yatırım güvencesi getirilerek, kalsit madeni açısından en önemli ve öncelikli bir sorun olan mevzuat sorununun giderildiği düşünülmektedir.

2.2. Ruhsat Düzenleme Aşamaları

Yürürlükteki Maden Kanunu kapsamında, II (a) ve II (c) grubu madenler için doğrudan işletme ruhsatı verilmektedir. Bu nedenle bu ruhsatların arama dönemi bulunmamaktadır. Ruhsat alanları 100 hektara kadar verilebilmektedir (Maden Kanunu, madde 16).

II (a) ve II (c) grubu madenler, Maden İşleri Genel Müdürlüğünce yapılan ihale sonucu alınabilmektedir. Katılım sağlanan ihalenin kazanılması sonucu bu ruhsat alanlarına hak sağlanması halinde sahalarm ihale bedelinin yatırılmasını müteakip iki ay içerisinde yetkilendirilmiş tüzel kişilerce maden mühendisinin sorumluluğunda hazırlanmış işletme projesinin ruhsat sahibi tarafından Genel Müdürlüğe verilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bu proje ile birlikte projenin uygulanabilmesi için gerekli olan mali yeterliliğine ilişkin belgeler ve genel bütçeye gelir kaydedilmek üzere ilgili muhasebe birimi hesabına işletme ruhsat taban bedelinin yatırıldığına dair belgenin Maden İşleri Genel Müdürlüğüne verilmesi zorunludur. Aksi hâlde işletme talebi reddedilmektedir. Belgelerin tamamlanması halinde on yıldan az olmamak üzere işletme ruhsatı düzenlenmektedir. Toplam işletme ruhsat süresi ise, süre uzatımlarıyla birlikte kırk yıldır. Kırk yıldan daha fazla II (a) ve II (c) ruhsatı düzenlenmesi Bakanlık Makamı Oluruna bağlıdır (Maden Kanunu, madde 24)

2.3 İşletme İzin Aşaması

Maden Kanununun 7. maddesine göre gerekli izinlerin (çevresel etki değerlendirme kararı, mülkiyet izni, işyeri açma ve çalışma ruhsatı ile Genel Müdürlüğün kayıtlarına işlenmiş alanlar ile ilgili izinlerin) alınmasından itibaren işletme izni verilmektedir. İşletme izin alanı verilmesi talebi değerlendirilirken, ruhsat için hak sağlanan alanlar içerisinde geçici tesis alanı ve görünür rezerv alanı dikkate alınmaktadır. İşletme izin sürecinde; ruhsat sahibince, işletme ruhsatı yürürlük tarihinden itibaren üç yıl içinde Maden Kanununun 7. maddesine göre alınması gerekli olan çevresel etki değerlendirme kararı, mülkiyet izni, işyeri açma ve çalışma ruhsatı ile Genel Müdürlüğün kayıtlarına işlenmiş alanlar ile ilgili izinlerin Genel Müdürlüğe verilmesini müteakip, işletme izni düzenlenir. Mevzuattaki süresi içinde yükümlülükleri yerine getirilmeyen ruhsatlar için her yıl 50.000 TL idari para cezası

uygulanmaktadır. İşletme ruhsat süresi sonuna kadar, gerekli izinlerin alınmaması ve Maden İşleri Genel Müdürlüğünce işletme izni düzenlenememesi halinde ruhsat süresi uzatılmamaktadır (Maden Kanunu, madde 24). Uygulanacak idari para cezaları her yıl yeniden değerlendirme oranında arttırılmaktadır.

3 KALSİT MADENCİLİĞİNİN MEVCUT DURUMU

Ülkemiz jeolojik açıdan bir karbonat ülkesidir, bu kapsamda aynı zamanda bir kalsit ülkesi de sayılabilmektedir. Kalsitte ülkemiz rezerv ve kalite bakımından zengin bir ülkedir ve dünyada ilk sıralardadır. Kalsitte aranan nitelikler yüksek saflık ve beyazlık olup, ülkemizde bazı bölgeler dışında hem beyazlık hem de öğütülmesi kolay kalsit rezervleri oldukça fazladır ve Türkiye’de kalsit rezervlerinin bu yönüyle ayrıcalıklı bir konuma sahip olduğu bilinmektedir. Rezervlerimizin genelinde CaCO₃ yüzdesi yüksektir, silis ve demir safsızlıkları ise çok düşük orandadır (DPT, 2001).

Kalsit madenciliğinde, özellikle İç Anadolu bölgesi ve Marmara Bölgesi ön plana çıkmakta olup, Niğde yöresindeki rezervler hem çok zengin ve hem de Türkiye’nin en beyaz oluşumlarıdır. Niğde ilimizin dışında kalsit üretiminde Çanakkale, Balıkesir, Eskişehir, Aksaray, Kırşehir illerimizde önemli üretim alanlarıdır. Ülkemizde, kalsit üretimi açık işletme yöntemi ile yapılmaktadır. Maden İşleri Genel Müdürlüğünün Mayıs 2016 verilerine göre, kalsit işletme izni almış ruhsat sayısı 120’dir. Ülkemizin coğrafi bölgelerine göre kalsit işletme izinli ruhsat oranları dikkate alındığında İç Anadolu Bölgesi %62, Marmara bölgesi ise %20’lik bir paya sahiptir (Çizelge 1). Türkiye kalsit üretimi ise özellikle son yıllarda tekrar yükselişe geçmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 1: Türkiye kalsit işletme izinli ruhsatların bölgelere göre dağılımı (kaynak: MİGEM)

Bölge	Kalsit işletme izinli ruhsat sayısı
İç Anadolu	74
Marmara	25
Ege	12
Diğer	9
Toplam	120

Çizelge 2: Kalsit üretim değerlerinin son 5 yıldaki üretim miktarları (kaynak: MİGEM)

YIL	Üretim (ton)
2010	8.629.005
2011	10.084.119
2012	9.248.471
2013	9.727.092
2014	11.054.222

4. KALSİTİN KULLANIM ALANLARI VE TERCİH EDİLME NEDENLERİ

Kalsitin en önemli özelliği saflığı ile ilgilidir. Şeffaf ve renksiz kristalleri toz haline getirilirken tam katkısız beyaza dönüşebilmektedir. Kalsit, mikronize kalsiyum karbonatlar ve kırılıp elenmiş kalsiyum karbonatlar açısından mikron boyutu ve buna dayalı olarak kullanım alanı değişebilmektedir. Kalsit, kağıt, mukavva, boya, plastik, kablo sanayinde, inşaat sektöründe sıva, cam, polimer, macun, derz dolgu yapımında, seramik ve gıda sektöründe, yer muşambası yapımında, yapıştırıcı imalatında kullanılmaktadır. Ayrıca çok büyük oranda dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Kalsit sanayinin bazı bölümlerinde vazgeçilmez dolgu maddesidir, bu önemi de giderek artmaktadır (DPT, 2001).

Kalsitin ve özellikle ülkemiz kalsit oluşumlarının kullanılma ve tercih edilmesinin dayanağı şöyle özetlenebilir: Kalsit değişik boyutlarda dolgu olarak katıldığı ürünlere, beyazlık, dayanıklılık, akışkanlık, gerilme-

akma mukavemeti, kopma uzaması, erime akışkanlığı, esneme gerilimi çeşitli özelliklerde iyileştirme kazandırmakta ve üretim maliyetini düşürmektedir. Kalsitin geleceği için bu önemli avantajlar, madencilik bu alt sektörünün lehine devam etmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kalsit önemli bir endüstriyel hammadde olmasına rağmen uzun süre Taşocakları Nizamnamesine tabi olarak işletildiğinden, son yıllara kadar bu madene dayalı önemli bir yatırım yapılamamış, ruhsat sayısında artış olmamış ve modern tesisler kurulamamıştır. 1999 yılında Maden Kanunu kapsamına alınması ile geçen on yedi yıllık süre zarfında (1999-2016), getirilen ruhsat ve tesis güvencesi ile sektöre hem yerli hem yabancı sermaye yatırımı hızlanmıştır. Getirilen yasal güvence ve olumlu gelişmelerle birlikte, yatırımlarda artma olmuş ve kalsit üretimi artarak, kalsit endüstride pek çok alanda daha fazla kullanılmaya başlamıştır. Mevzuatın ruhsat güvencesi sağlanmasına müteakip önemli modern tesislerin sayısının artması da sağlanmıştır.

Kalsit rezervi ve kalitesi açısından Türkiye önemli bir ülkedir. Özellikle İç Anadolu ve Marmara bölgelerinde yer alan kalsit yatakları hem iç hem de dış piyasa için önemli yataklardır. Kalsit işletme izinli ruhsat sayısı bakımından da bu iki bölgemiz önemli bir yerde bulunmaktadır.

Ülkemiz madencilik sektörünün bu alt sektöründe daha da ilerleme kaydedilmesi için çok daha detaylı AR-GE çalışması yapılmalıdır. Kalsit konusunda uzmanlarca yapılacak bu detaylı çalışmalarla, kalsit madeninin daha fazla alana ulaşması sağlanabilecek ve istihdam, üretim, ihracat açısından hızlı artış olabilecektir.

KAYNAKLAR

Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel

Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri I (Asbest-Grafit-Kalsit-Fluorit-Titanyum) Çalışma Grubu Raporu, (DPT:2168 ÖİK:629), 99 s., Ankara.

Maden Kanunu ve değişiklikleri, www.mevzuat.gov.tr,

Maden İşleri Genel Müdürlüğü (MİGEM) istatistikleri

Maden İşleri Genel Müdürlüğü, 2010-2014 Yılları Arasında Yapılan Üretim Miktarları, [http://www.migem.gov.tr/istatistikler/istatistik-](http://www.migem.gov.tr/istatistikler/istatistik-dok/2010-)

[dok/2010-2014%20YEN%C4%B0LEENEN%20%C3%9CRET%C4%B0M%20L%C4%B0STELER%C4%B0.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=1106c96f-5938-431e-afc2-de2fee11a7e4](http://www.migem.gov.tr/istatistikler/istatistik-dok/2010-2014%20YEN%C4%B0LEENEN%20%C3%9CRET%C4%B0M%20L%C4%B0STELER%C4%B0.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=1106c96f-5938-431e-afc2-de2fee11a7e4)

Taş Ocakları Nizamnamesi ve Güncel Mevzuat *Quarry Directory and Current Regulations*

Ö.Günay

Avukat, E. Maden Müh

ÖZET: Bu bildiri de ulusal ve uluslararası hukuk da taş ocakları işletmeciliğinin madencilik faaliyeti sayılıp sayılmaması ile ilgili tartışmalar incelenecektir. Öncesinde taş ocakları mevzuatı tarihi, devamında güncel düzenlemeler ile sorunlar ve çözüm önerileri yer almaktadır

ABSTRACT *In this work, it is investigated whether quarry industry is such a mining activity in the scope of both national and international law. Furthermore, the history and update information about laws and regulations on quarry will be mentioned. Finally, readers can find the drawbacks and suggestions for solutions in the declaration.*

1. TAŞ OCAKLARI MEVZUATININ TARİHÇESİ:

İnsanoğlu ilk alet ihtiyacını taş, ağaç ve kemikleri işleyerek elde etmiştir. Ağaç ve kemik her yerde bulunmazken; taşı her dönem kullanmıştır. Tarihin en uzun çağı da taş çağıdır. Anadolu'da da taş çağının en önemli merkezi ve medeniyeti de Çatalhöyük'tür.¹

Osmanlı'ya kadar taş ocaklarının düzenlenmesi ile ilgili yazılı herhangi bir düzenlemeye tesadüf edilmemiştir. Osmanlı'da taş ocaklarının işletilmesi ilk olarak, 1901 tarihli Nizamname ile düzenlenmiştir. 18 Haziran 1901 tarihli Taş Ocakları Nizamnamesi 05.06.2004 tarih ve 25483 sayılı resmi gazetede yayımlanan 26.05.2004 kabul tarihli ve 5177 sayılı kanunun 38.maddesi ile yürürlükten kaldırılmıştır. Böylece yüzyıla yakın

uygulanan düzenleme değiştirilerek, taş ocakçılığı, maden kanunu kapsamına alınmıştır.

Kısaca bu gelişmeleri izleyecek olursak,

1.1.23 Şevval 1274 (1858) Tarihli Arazi Kanunu

Bu kanun, her ne kadar doğrudan maden ve taş ocağı düzenlemesi olmamasına rağmen, maden mülkiyetinin belirlenmesi açısından önemlidir.

1858 Arazi kanunnamesinde Osmanlı'da arazi beş bölüme ayrılır:

1-Arazii memluke,(Mülkiyet yolu ile tasarruf olunan yerler) de mülk sahibi de, mülkiyeti kendisine ait arazisinde dilediği şekilde tasarrufta bulunabilmektedir. 1194 sayılı Mecelle (Osmanlı'nın medeni kanunu) maddesi "kim ki bir yere malik olursa mafevkine (üstüne) ve matahtna (altına) dahi malik olur". Bu nedenle madenlerde mülk sahibine aittir.

2-İkinci arazi çeşidi, mîri arâzi olup, Mülkiyeti devlete ait bu arazinin çıplak mülkiyeti devlete âit, tasarruf hakkı bölge maden müdürleri (Osmanlı'da idari birim

¹ Hodder, I,2014

yöneticisi) verilmiştir.”Bu topraklarda ki eriyebilen ve eriyemeyen bütün madenler devlete aittir. Zira malum olduğu üzere, miri toprakların ve bunların vakıflıların murakabesi (denetimi) devlete ait olup bölge maden müdürleri ancak kiracı vaziyetindedirler.”² Bu nedenle maden bulunan arazinin mülkiyeti de devletindir. Ancak arazi “ değer pahasını vermek şartıyla... Bölge maden müdüründen alınarak” maden işletilebilir.

3- Vakıf Arazisi, buda iki çeşittir. Birinci sırada yer alan mülk niteliğindeki arazi vakfa bağışlanmışsa Sahih(belirli), vakıf yönetimince idare edilir; devlete ait arazi vakfa özgülünmüşse gayri sahihtir (belirsiz) ve bölge maden müdürleri tarafından yönetilir. Maden, bölge maden müdürüncü³ yönetiliyorsa beşte biri devletindir.

4-Metruk araziler ve kamuya tahsis edilen arazilerde, Arazi Kanununun 107. maddesi gereği, maden gelirlerinin devlete ait olduğu hallerdir ve madeni bulan maden gelirlerinin beşte birini alır.⁴

5-Ölü araziler, kimsenin mülkiyetinde olmayan araziler (Bir kasaba ve köyün otağı olmadığı halde, kasaba ve köylerin en kıyısında ki evlerinden, sesi gür bir kişinin sesinin duyulamayacağı yerler) Burada da metruk arazilere ait hükümler uygulanır.

Maden Kanunu olmamakla birlikte, toprak mülkiyetinin açıklanması nedeni ile madenle ilgili genel esaslarda bu kanunda yer almıştır.

Bu dönemde, Taş ocaklarının da ait oldukları mülkiyete tabi olarak işletildiğini varsayıyoruz.

1.2. 9 Muharrem 1278 (28 Mayıs 1861) Tarihli Maadin Nizamnamesi

İlk maden mevzuatı da sayılabilecek bu düzenleme ile ilgili gelişmeler şu şekilde olmuştur:

² Kübalı, 1942;s: 798

³ Mutasarrıf, bölge maden müdürü olarak değerlendirilmiştir.

⁴ Kübalı,1942;s: 806

“ XIX. yüzyıl ortalarına geldiğinde şahısların maden imtiyazlarına olan ilgisi artmasına karşın maden üretimini belirleyen kapsamlı bir metin bulunmuyordu. 1858 arazi Kanunnamesi'nin 107. Maddesi madenlerin mülkiyeti ve alınacak vergileri, madenin bulunduğu arazinin türüne göre tayin etmesine rağmen işletme yöntemleri, imtiyaz sahiplerinin sorumlulukları, işçilerin durumları, yakacak temini gibi daha pek çok konuya açıklık getirmiyordu.

Ayrıca, işletilmekte olan madenlerin çoğu usulsüzlükler, yakacak planlamasının yapılmaması ve madenin bulunduğu yöre halkının ocaklarda zorla çalıştırılması gibi nedenlerde dolayı verimliliklerini kaybetmişlerdi. Bu nedenle Avrupa'da olduğu gibi üretimin tüm safhalarını tarif bağımsız bir nizamnamenin hazırlanması için 1856 da Hazine-i Hassa Nezareti(Maliye Bakanlığı)'nda haftada iki gün toplanacak özel bir komisyon kuruldu.

Komisyonun çalışmaları sonucu, altı bölüm ve altmış maddeden meydana gelen bir taslak kaleme alındı, metin üzerinde Meclis'te yapılan müzakerelerde bazı maddelerin değişikliğe ihtiyacı olduğuna karar verildi. Buna göre kasaba ve köy halkına ait olan mera, ormanlık arazi ve pazar yeri gibi metruk arazide bulunacak olan madenler hakkında bir hükmün bulunmaması ileride sıkıntılara yol açabileceğinden, yeni bir madde hazırlanarak metne dâhil edildi. Yine maden gelirinden alınacak vergi oranının %3-20 arasında olması yüksek bulunarak, verginin üst sınırı % 10 'a çekildi. İdare verginin düşürülmesini uygun buluyor, ancak imtiyaz verilmeden önce vergi miktarının tayin edilmesini sakıncalı görüyordu. Maden servetinin anlaşılmasından sonra madenciler ile yapılacak görüşmelerle verginin belirlenmesinin daha yerinde olacağı düşünüldüğünden, ilgili madde öngörülen şekilde tahsis edildi. Bu şekilde son halini alan Osmanlı Devleti'nin ilk maden nizamnamesi 28 Mayıs 1861 tarihinde yürürlüğe girdi. Beş bölüm ve elli dört maddeden oluşan nizamnamenin girişinde madenler iki sınıfa ayrılıyordu. Gerek yeryüzünde ve gerekse yeraltında bulunan

altın gümüş, kurşun, bakır, kalay, nikel, civa, çinko, manganez, krom, kükürt, kobalt, zımpara, şap, maden kömürü ve kaya tuzu Mevadd-ı Madeniye(Cevherli madenler);Mermer, çakmak ve alçı taşı, kireç, porselen toprağı, kum, kil, lüle yapımında kullanılan toprak ve taş çeşitleri Mevadd-ı Gayrı-ı Madeniye(Cevhersiz madenler) olarak tanımlanmıştı. Nizamnamenin ilk onbir maddesi maden arama ve keşif faaliyetlerini tarif ediyordu. Buna göre bir kişi sahip olduğu arazide izin ve ruhsat almaksızın maden araması yapabilecekti.

Diğer taraftan miri arazi için ilgililerin devletten ruhsat alması hükmüne bağlanmıştı. Bir yerde arama yapacak olanlar vilayet ve kaza itibarıyla, maden sahasını, madenin cinsini ve keşif kazıları sırasında oluşabilecek zararları tazmin edeceklerini dilekçelerinde belirtmeleri gerekiyordu. Bu amaçla verilecek taharri (arama) ruhsatlarının süresi iki yıla sınırlanmıştı.⁵

Adı geçen belgede, bu nizamname ile Osmanlı vatandaşları tek başına veya yabancılarla ortaklık şeklinde imtiyaz talep edebildikleri de anlaşılmaktadır. İmtiyaz dışında, maden işletme ruhsatlarının süresinin de on yıl olduğu ifade edilmektedir.

Bu düzenleme ile madenlerin özel kişilerce işletilmesinin yolu açılmış oluyordu.

1.3. 23 Zilhicce 1285 (1869) Tarihli Maadin Nizamnamesi

Yaklaşık sekiz yıl uygulamada kalan 1861 Nizamnâmesi ile maden işletmeciliğinde elde edilen tecrübelerden sonra ve bilhassa 1867'de yabancıların Osmanlı coğrafyasında toprak almalarına izin verilmesinin de etkisiyle 1869'da yeni bir maden nizamnamesi hazırlandı. 1810 Fransız Maden Kanunu esas alınarak kaleme alınan 1869 nizamnâmesinin önceki metne göre daha kapsamlı olduğu doksan maddeye çıkan hacmiyle de ilk bakışta görülmektedir. Bu düzenlemede öncelikle madenlerin tanımı ve sınıflandırması yapılmıştır. 1861

düzenlemesinde Mevadd-ı Madeniye denilen altın, gümüş, demir, kalay, çinko gibi damar veya tabaka halinde bulunan madenler (Asıl Maden) Ma'âdin-i Asliye; yüzeyde dağınık olarak bulunan taş çeşitleri, alaşımli kum, şaplı toprak gibi daha az hafriyyât ile çıkarılan maden cinsleri ise Ma'âdin-i Sathiyeye (Yüzey madenleri) olarak adlandırılmıştır. Mermer, alçı ve kireç taşı, kil, porselen toprağı, çanak, çömlek ve lüle yapımında kullanılan topraklar yeni metne dâhil edilmemiştir.

Bu nedenle taş Ocaklarınızda bu mevzuatla, maden sayılmamış, fiili sonucu olarak da toprak mülkiyetine sahip olan, taş ocağını işletmiştir.

Yeni nizamnamenin ilk göze çarpan noktası,1861'de "müddet-i münasibe"(uygun süre) ifadesiyle belirsiz şekilde bırakılan imtiyaz süresini doksan dokuz yıl olarak belirlemesidir. Tercih edilen ortalama on yıllık imtiyaz süresi Osmanlı madenciliğinin gelişmesinin önündeki engellerden biriydi. Çünkü diğer ticarî faaliyetler ile karşılaştırıldığında edildiğinde madencilikten kısa vadede kazanç elde edilebilmesi -günümüzde olduğu gibi mümkün değildi. Bazen uygun damarı bulabilmek için yıllarca kazı yapmak, yüksek miktarda yatırım yapmak ve beklemek gerekebiliyordu. Masraflarını bir an önce çıkarmak isteyen mültezimler (devlet adına madencilik yapanlar, ruhsat sahibi) alelacele kazı yapmakta ve madeni tahrip etmekteydiler.

Bu nedenle Sadrazamlığın imtiyaz süresini doksan dokuz yıla çıkarması gerçek maden yatırımcısının önünü açacak bir gelişmeydi. Yine aynı çerçevede yabancılar tek başlarına ve kendi adlarına ihalelere girebilme hakkı verilmesi, imtiyaz hakkının diğer mal ve eşyalar gibi başkalarına satılabilmesine veya mirasçılara imkân tanınması mülkiyet açısından önemli yeniliklerdendi.1869 Nizamnâmesi ile vergi konusu da ele alınarak oluşabilecek anlaşmazlıklar ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Buna göre maden hafriyyâtı için tahsis edilen araziden "Resm-i Mukarrer"(Ruhsat harcı) adı ile dönüm başına ve senelik olarak beş para ve bir yılda

⁵ (Keskin, s. 2015)

çıkarılacak cevher hâsılâtından ise %1–5 arasında “Resm-i Nisbî” (Devlet hakkı) tahsil edilecekti. Ferman Harcı (Ruhsat Bedeli) artırılarak 50–200 lira olarak yeniden belirlenmişti.

Bu arada ilk defa madenlerin güvenliği ve sağlık koşulları üzerinde durularak madenlerde bir doktor ve eczane bulundurulması zorunlu hale getirilmiştir. Ayrıca kazazede işçilerin ailelerine mahkemenin tayin edeceği tazminatın ödenmesi öngörülmüş, kazayı zamanında haber vermeyenlere veya teknik eksiklikten meydana gelen kazaların sorumlularına da para cezaları verileceği karara bağlanmıştır.

Bu düzenleme ile ilk defa devlet hakkı ve ruhsat harcı kavramı olarak düzenlenmiştir. Yabancılara maden işletme hakkında bu düzenleme ile sağlanmıştır.

Ancak, günümüz için belki de en önemli sayılabilecek düzenleme, maden kazalarında tazminatın kanuna girmiş olmasıdır

1.4. 25 Ağustos 1303 (1887) Tarihli Maadin Nizamnamesi

1869 Nizamnâmesi yürürlüğe girdikten kısa bir süre sonra ihale ve idare alanlarında yaşanan problemleri ortadan kaldırmak için 1873 sonlarında bir komisyon kuruldu. Bu girişimden bir sonuç alınmamış olsa gerek yaklaşık on yıl sonra yeni bir maden nizamnamesi hazırlıklarına başlandı. Aralarında Orman ve Maden Bakanı Bedros Kuyumciyan'ın da bulunduğu özel komisyon önemli gördüğü dokuz noktayı Şûrâ-yı Devlet'e (Günümüz Danıştay) bildirdi. Bu tespitlere göre imtiyaz sahiplerinin maden bölgesinde kalhâne (maden eritme) ve fabrika inşa etmeleri teşvik ediliyordu. Maden arazisi ihtiyaca cevap verecek genişlikte, sermaye ve imalatla orantılı olmalıydı. Ayrıca hazinenin kayıplarını engellemek için çıkarılan cevher miktarının tam olarak belirlenmesi gerekiyordu. Bu nedenle güvenilir memurlar tayin edilerek madenlerin daha sıkı teftişi öngörülmüyordu. Maden imalatında kullanılmak üzere ormanlardan ağaç kesilirken bölge halkının ihtiyaçları da dikkate alınmalıydı. Ayrıca beklenen faydayı sağlamayan ve çok uzun

olan doksan dokuz senelik imtiyaz süresi kırk seneye indirilmeliydi. Madenlerde istihdam edilecek işçilerin ise yöre halkından seçilmesine özen gösterilmeliydi.

Komisyonunda ele alınan ve madenlere tahsis edilecek arazi miktarını ve imtiyaz sürelerini konu alan maddeler daha sonra Şûrâ-yı Devlet Tanzimat Dairesi azalarından bir bölümünün de bulunduğu üst komisyonunda ele alındı. Yeni tartışmalarda arazi miktarı ile elde edilecek kazanç arasında bir karşılaştırma yapmanın mümkün olmadığı ileri sürüldü. Çünkü büyük sermaye gerektiren bazı madenlerin arazisi geniş olmakla birlikte, bazen küçük arazileri kapsayan madenler daha verimli olabiliyordu. Eğer amaç geniş arazi parçalarının boş kalmasını önlemek ise maden arazisinden alınan vergi arttırılarak bu kayıp önlenebilirdi. Diğer devletlerde olduğu gibi doksan dokuz sene olarak belirlenen imtiyaz süresinin kısaltılması mültezimlerin yatıracakları sermayeyi tam olarak alamamalarına yol açabilirdi. Bu durum, maden yatırımcılarının piyasadan çekilmesine veya masraflarını kısa zamanda çıkarmak isteyen mültezimlerin madenleri tahrip etmelerine neden olabilirdi. Bununla birlikte büyük sermaye ve hafriyat gerektirmeyen krom ve zımpara gibi yığın halinde bulunan madenler kırk seneden az olmamak üzere ihale edilebilirdi.

Nitekim süre konusundaki komisyon kararı 1887 Nizamnamesinde aynen yer alırken yeni imtiyazlar da bu hükme uygun olarak verildi. Önceki maden mevzuatına göre imtiyaz hakkı alanların da yeni nizamnameye tabi olmaları gerekiyordu. Fakat vergilerin yükseltilmesi itirazlara sebep olacağından bu mültezimlerin 'yeni düzenleme yürürlüğe girdiği tarihten itibaren on yıl daha eski hükümlere göre vergi ödemeleri şeklinde bir ara formül bulunarak sorun çözümlendi. Birkaç yıl süren komisyon çalışmalarının tamamlanmasından sonra 7 Eylül 1887 tarihinde Osmanlı Devleti'nin üçüncü Maden Nizamnâmesi resmen uygulamaya girdi.

⁶ İhale ile maden işletmeciliğini yapanlar

Dokuz bölüm ve doksan iki maddeden oluşan nizamnamenin ilk bölümünde madenlerin sınıflandırılması ve buna göre imtiyaz süreleri belirleniyordu. Yapılan yeniliklerden biri maden imalatının devamlılığını sağlamak üzere üretimde kullanılan hayvan, her türlü araç gereç ve bir senelik üretim ihtiyacının demirbaş kabul edilerek bunların borç karşılığı hacizlerine izin verilmemesi hükmüdür. Bu hüküm daha sonra maden hukukunun temel prensiplerinden biri olmuş ve güncel mevzuatta da aynen konmuştur. Ayrıca kendi arazilerinde devletten izin almadan maden arayabilen arazi sahiplerinin artık arayacakları madenin cinsini ve arazinin sınırlarını belirterek mahalli idareden onay almaları gerekiyordu. Bu müracaat aynı zamanda madeni ilk bulanın iddiasını ispat etmesini sağladığı gibi, imtiyaz alan kişinin madeni bulana “Mucitlik Hakkı” (Buluculuk hakkı) adı altında tazminat ödemesine de temel teşkil ediyordu. Gerek ruhsata bağlanma ve gerekse güncel mevzuatta yer alan “buluculuk hakkı” böylece tesis edilmiş oluyordu. 1887 Nizamnamesi mültezimlerin ödeyecekleri vergilere de artış getirdi. Tahsis edilen arazi karşılığı senelik ve dönüm başına 1869’da beş para olan Ruhsat harcı on kuruşa çıkarıldı. Bir yılda çıkarılan cevherden alınan Devlet Hakkı ise bakır, kömür ve simli kurşun gibi kuyu ve mağara açılarak çıkarılan madenler için %1-5 olarak belirlenirken, zımpara, krom, petrol, zift, petrol, lüle taşı gibi yığın halinde bulunan madenler için ise %10-20 arasında tahsil edilecekti. Madenin kötü idaresinden ve teknik aksaklıkta meydana gelecek kazalar sebebiyle alınacak para cezaları da ciddi bir şekilde artırılarak 50-100 altın olarak yeniden belirlendi. 1887 Maden Nizamnamesi’nin özellikle Arama bölümüne gelen itirazlar sonucu 1901’de bu kısım değiştirildi. Şahıslara ait arazilerde, çevrede bulunan bina ve diğer yapılara zarar vermeyeceğinin anlaşılması halinde Orman ve Ma’âdin ve Ziraat Nezareti’nin onayı ile keşif kazılarına başlanabilecekti. İstanbul’daki maden hafriyatları ister mülk ister mîrî arazide olsun padişahın iznine bağlıydı. Resmi işlemleri tamamlanan ve

arama ruhsatı alması uygun görülenler iki ay içinde ruhsatnamelerini almazlarsa haklarını kaybedeceklerdi”

Bu uygulama da temel ayırım Resm-i nisip, güncel deyimi ile devlet hakkında görülmektedir. İkili bir ayırımla kolay çıkarılabilen, yüzeyde ki madenlerin devlet hakkı, yeraltı işletmeciliğine göre düşük tutulmuştur. Burada ki ayırım yapılan madencilik yöntemine göre yapılan ayırımdır. Güncel mevzuatta ise bu ayırım yerine genel olarak maden işletmeciliği yöntemi değil, madenin cinsi ve güncel değeri öne çıkarılmaktadır.

1.5 18 Haziran 1901 Tarihli Taş Ocakları Nizamnamesi

İlgili nizamnamenin ilk maddesi nizamnameye kapsamı ile ilgilidir ve sayma yolu ile belirlenmiştir.

Porfiri tipi mermerler, alçıtaşı, kireçtaşı, çakmak ve kaldırım taşı, tüm mermerler, çakıl ve greler, amyant, marn, kil, çimento hammaddeleri, boya için kullanılan topraklar, kaolen ve her türlü killer bu nizamname kapsamına alınmıştır.”⁷

Şeklinde dir.⁸ Bu düzenlemede mermerinde taş ocakları kapsamında değerlendirildiğini görüyoruz.

Bir diğer önemli düzenleme ise “MADDE 2- Ocaklar hangi nevi arazide zuhur eder ise küşat ve imal etme hakkı o arazi eshabına aittir.”

⁷ “ Madde 1- Ocaklar somaki ye alçı ve kireç ve çakmak ve kaldırım ve değirmen ve litografya ve envai mermer ve çakıl ve gre ve granit ve kumlu ve emsali taşlarla amyant ve puzolan ve strasi ve bazalt ve lav ve marn ve tebeşir ve üstübeç ve kil ve çimento ve kaolen ve feldspat ve buna mümasil ecsamdan ve yün ve yapağı tathiri ve çanak ve çömlek ve emsali mamulat ve boya imal veyahut toprağı kuvvetlendirmek için erbabı ziraat tarafından istimal olunan piritli ve diğer topraklardan ve sair bunlara mümasil mevattan ibarettir.”

⁸ <http://www.maden.org>.

[tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=60](http://www.maden.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=60)

Şeklinde dir. Başka bir ifade ile arazinin mülkiyetine sahip olan, ocağı işletmeye de yetkilidir.

Diğer düzenlemelerde ise, köyün ortak malları ve özellikle meralarda ki faaliyeti için yerel halkın iznine, ormanlarda yapılacak faaliyetlerle ilgili izinin orman idaresine ve askeriyenin arazine 1 km den daha yakın yerler içinde askeriyenin iznine bağlanmıştır.

24. maddede ise “mağara” şeklinde yapılan faaliyetlere maden mühendisinin nezareti şart koşuldur.

Son olarak nizamnamenin uygulanması görevi Orman, Maden ve Ziraat Bakanlığına“ verilmiştir.

Görüldüğü üzere, maden veya taş ocakçılığı ile ilgili düzenlemeler başlıca iki konu üzerinde değişiklik göstermiştir. Bunlardan birincisi yabancıların ülkemizde madencilik yapabilmesi ile ilgili değişiklikler, bir diğeri ise üretimden alınacak ruhsat harcı, devlet hakkı gibi üretimden devletin alacağı payın belirlenmesine yöneliktir.

2- GÜNCEL MEVZUAT

Güncel mevzuat 26.5.2004, 10.6.2010 ve 4.2.2015 tarihli değişiklikler sonunda taş ocakları sonucu elde edilen ürünler sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Adı geçen ürünler 1.ve 2. Grup maden olarak vasıflandırılmıştır.

Birinci grup madenler:

a) İnşaat ile yol yapımında kullanılan ve tabiatda doğal olarak bulunan kum ve çakıl.

b)Tuğla-kiremit kili, Çimento kili, Marn, Puzolanik kayaç (Tras) ile çimento ve seramik sanayilerinde kullanılan ve diğer gruplarda yer almayan kayaçlar

İkinci grup madenler ise:

a) Kalsit, Dolomit, Kalker, Granit, Andezit, Bazalt gibi kayaçlardan agrega, hazır beton ve asfalt yapılarak kullanılan kayaçlar.

b)Mermer, Traverten, Granit, Andezit, Bazalt gibi blok olarak üretilen taşlar ile dekoratif amaçla kullanılan doğal taşlar.

c) Kalsit, Dolomit, Kalker, Granit, Andezit, Bazalt gibi kayaçlardan entegre çimento, kireç ve kalsit öğütme tesisinde kullanılan kayaçlar.

Şeklinde düzenlenmiştir.

Bu ayırım sonucunda devlet hakkı ise,

a)I. Grup (a) bendi madenlerin valilik veya il özel idaresince belirlenen ve ilan edilen boyutlandırılmış ve/veya yıkanmış piyasa satış fiyatı üzerinden %4 oranında,

b)I. Grup (b) bendi madenlerden %4 oranında,

c)II. Grup (a) ve (c) bendi madenlerden %4 (Kaba inşaat, baraj, gölet, liman gibi yapılarda kullanılan tüvenan hammadde dışında bu maddedeki Devlet hakkı boyutlandırılmış fiyat üzerinden alınır.) şeklindedir

16 madde de ise “I. Grup, II. Grup (a) ve (c) bendi madenler için doğrudan işletme ruhsatı verilir” denilerek arama ruhsatı sürecinden muaf tutulmuş, ancak bu muafiyet mermer için sağlanmamıştır.

Aynı maddenin devamında

“I. Grup (a) bendi madenler için alanlar il özel idarelerince ihale edilerek işletme ruhsatı verilir. İhale edilecek alanlar Genel Müdürlüğün uygun görüşü alınarak belirlenir. Bu madenlerin ihale bedeli büyükşehir belediyesi dışındaki illerde il özel idarelerinin hesabına yatırılır. Özel mülkiyete tâbi alanlar ihale edilemez. Mülkiyet sahibinin kendi mülkiyeti üzerinde ruhsat talep etmesi halinde bir bedel alınmaz. Bu madenler için, özel mülkiyete tabi alanlarda mülk sahibinin izninin alınması halinde büyükşehir belediyesi olan illerde valiliklerce, diğer illerde İl Özel İdaresi tarafından belirlenen muhammen bedelin yatırılmasını müteakip üçüncü şahıslara da ruhsat verilir. I. Grup (a) bendi maden ruhsatlarının alanları 10 hektarı geçemez.” Denilmekte ve ihale makamı MİGEM yerine il özel idareleri gösterilmektedir. Ayrıca alan sınırlaması da getirilmektedir.

Yeni kanunla ilave edilen bir diğer düzenleme ise

“Denizlerdeki kum ve çakıl, SiO₂ oranına bakılmaksızın I. Grup (a) bendi maden sayılır ve bu alanlarda 20 hektara kadar ruhsat verilir.

I. Grup (a) bendi madenlerin ihale edilmesi, ruhsatlandırılması, işletilmesi, işletmelerin denetlenmesi ile ilgili usul ve esaslar Bakanlıkça hazırlanacak yönetmelikte belirlenir. “

Şeklinde dir.

Bu düzenleme ile de alan sınırları genişletilmiş, denizden kum ve çakıl üretimi maden kanunu kapsamına alınmıştır.

3.GÜNCEL MEVZUATIN YORUMLANMASI

Taş ocakları işletmeciliğinin bir madencilik faaliyeti olup olmadığı, gerek uluslararası ve gerekse ulusal maden hukukunun temel tartışmalarından biridir. Maden mülkiyetinin, toprak mülkiyetine bağlandığı hukuki sistemler ile madenlerin devletin hüküm ve tasarrufunda olduğu sistemler ana ayrılık konusudur.

Ulusal maden hukukumuzda ise doğal kaynaklar devletin hüküm ve tasarrufunda iken, karma bir sistem yolunu tercih etmiş, taş ocaklarının ruhsatını toprak mülkiyetine bağlarken diğer Madenler ruhsatı ve izne tabi kılınmıştır.

Taş ocakları işletmeciliğinin bir madencilik faaliyeti olup olmadığı sorunun çözümü için maden hukukunun ilkelerinden hareket etmek bizi bir sonuca götürebilir.

Maden hukukunun ilkeleri konusunda doktrinde:

1-Madenler buldukları yerde üretilecek zorundadırlar

2-Madenler yenilenemeyen kaynaklardır

3-Maden hakları bölünemez

4-Maden hakları tekel niteliğindedir

5-İstisnalar temel özelliktir.

Görüşü savunulmaktadır.⁹

Konumuzla ilgisi bakımından yukarıda sayılan ilkelerden madenlerin yenilenemeyen kaynak olması açısından incelediğimizde,

taşların diğer madenlere göre yenilenemeyen kaynak olma niteliği daha düşüktür. Başka bir ifade ile “taş”, diğer madenlere göre daha çok bulunur. Bu nedenle yenilenememe özelliği diğer madenlere göre daha azdır. Bu açıdan taşın maden niteliği diğer madenlere göre düşüktür. Maden tanımı içinde gri alan içindedir.

Diğer bir ilke olan istisnaların temel özellik olması açısından ise, her maden işletmeciliği kendi başına ayrı bir projedir. Her taşın fiziksel, kimyasal, özellikleri birbirine benzemeyebilir. Oluşumu, yataklanması ve jeolojisi açısından da farklı madencilik veya hazırlama yöntemine ihtiyaç duyabilir. Bu nedenle de tek tip uygulama mümkün değildir.

4-ÖNERİLER

İlkelerden hareketle yapılan çözümde, güncel mevzuatımız genel itibarı ile maden işletmelerinin büyüklüğü açısından ayırım yapmamaktadır (Devlet hakkı hariç). Daimi Nezaretçi, idari para cezaları, projelerin YTK lara yaptırma zorunluluğu, iş güvenliği tedbirleri açısından tek tip uygulamalar söz konusudur. Oysa maden hukukunun da adaleti sağlama görevi vardır. Adaletin temel ilkesi eşitler arasında eşitliklerdir. Zayıf olanın, güçlünün yanına çekilmesidir. Bu nedenle ulusal madencilik de sürdürülebilmesi için de maden hukukunda zayıf veya küçük işletmelerinde korunmasına yönelik tedbirlerin öncelikli olması beklenir.

Bir diğer sorun ise maden işletme projelerinin bilimsel anlamda denetlenmemesidir. MİGEM ve Özel idarelerin denetimi şekil açısından denetimdir. Bu nedenle kamu malı olan madenlerin işletilmesi için hazırlanan projelerin maden bilim kurulunda denetlenmesi gerekir. güvenliği açısından bilimsel uygunluk ve son olarak çevre bakımından bilimsel uygundur.

⁹ Günay, 2016

5- SONUÇ

5177 sayılı kanunda taş ocaklarının, maden kanununa dâhil edilmesi ile ilgili gerekçe şu şekildedir:

Günümüzde çimento sanayinin ihtiyacı olan kalker, Puzolanik kayaç ve marn gibi hammaddeler taşocağı ruhsatları ile karşılanmaktadır. Büyük bir gelişme içinde olan bu sektör daha büyük yatırımlar yapabilmek için hammadde ihtiyacını daha güvenilir ve büyük rezervli kaynaklardan karşılamak istemektedir. Kireç sanayi içinde aynı durum söz konusudur. Bu nedenle kalker, Puzolanik kayaç ve marnın maden kanunu kapsamına alınması gerekli görülmüş ve kanunun 2 nci maddesine eklenmiştir. Diğer taraftan dekoratif taşların giderek önem kazanması ve bazı taşların parlatılmadan kullanımının yaygınlaşması nedeni ile kanundaki mermer tanımının yeniden düzenlenmesine ihtiyaç duyulmuş ve kesilip parlatılarak kullanma kıstası kaldırılmış ve dekoratif taşlar da bu madde kapsamına alınmıştır. Bu değişiklik sonucunda mermer ve dekoratif taşların inşaat sektöründe kullanımı ile önemli gelişmeler beklenmektedir.

Seramik sektöründe düşük oranlı Al₂O₃ ihtiva eden killerin kullanımının artması göz önüne alınarak Al₂O₃ oranının kaldırılması zorunlu hale gelmiş ve tüm sektörlerin kil talebinin karşılanması amaçlanmıştır. Seramik sektöründe, döküm sanayinde ve diğer sanayi kollarında kullanılan kil alanları ile tuğla-kiremit sanayinde kullanılan kil alanlarının çakışması nedeniyle ortaya çıkan sorunları kaldırmak ve tuğla-kiremit sanayi için gerekli kil ihtiyacının karşılanmasında yaşanan güçlükleri ortadan kaldırmak amacıyla tuğla-kiremit kili tasarı kapsamına alınmıştır. Kuvars kumu yataklarındaki SiO₂ oranının da % 80'e düşürülmesi zaruret haline gelmiştir.

Diğer taraftan değişik tarihlerde Bakanlar Kurulu Kararı ile Maden Kanunu kapsamına alınmış olan karbondioksit (CO₂), turba, alçı taşı (jips, anhidrit), kalsit ile sanayinin önemli hammaddelerinden olan sepiyolit ve huntit madde metnine ilave edilmiş ve 2 nci

maddede bilimsel sınıflamalara uygun bir düzenleme getirilmiştir.¹⁰⁰

Ana gerekçenin "...bu sektör (madencilik) daha büyük yatırımlar yapabilmek için hammadde ihtiyacını daha güvenilir ve büyük rezervli kaynaklardan karşılamak istemektedir." Şeklinde. Bu gerekçeye katılmakla birlikte, küçük işletmelerin yok olacağı da bir başka sonuç olarak karşımıza çıkacaktır.

Bir diğer sonuç ise, maden mevzuatında değişiklik gerekçeleri olan, yabancıların maden işletmeciliği yolunun açılması ve devletin maden gelirlerinden ayrılan payın tespiti tartışmasının aynen devam ettiği sonucuna varmak mümkündür.

KAYNAKLAR

- Dalsar, F. (1947). Maden ve Madencilik Tarihi. İktisat ve Maliye Dergisi.
- Göğer, E. (1979). Maden Hukuku. Ankara: Ankara Üniversitesi
- Gülen, A. (2008). Maden İdare Hukukumuzun Ana İlkeleri ve Temel Müesseseleri
- Keskin, Ö. (n.d.). Osmanlı Devleti'nde Maden Hukukunun Tekâmülü (1861-1906). Retrieved Ekim 2015, from dergipark.ulakbim.gov.tr/otam/article/view/500008512
- Kübalı, H. N. (1942). Eski Mevzuatımız ve Maden Mülkiyeti. Maarif Vekaleti Derleme Müdürlüğü.
- Günay, Ö. (2016) Maden Hukuku, Seçkin Yayınları

100

<https://www.tbmm.gov.tr/sirasavi/donem22/yil01/ss451.m.htm> 19.09.2016 da alındı

Türkiye'deki Agregat Üretimi ve Sorunlarına Genel Bakış *Aggregate Production and Overview of the Issues in Turkey*

R. Kocaman

Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Üretim Mühendisi, Ankara

H. Kurtcu

Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Maden Yük. Mühendisi, Ankara

B. Kocaman

Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Maden Mühendisi, Ankara

ÖZET Günümüzde gelişmişliğin göstergesi olarak kabul edilen ve ekonomik gelişmeleri doğrudan etkileyen sektör olarak inşaat sektörü gösterilmektedir. İnşaat sektörünün lokomotifi agregat sektörüdür. Kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelerin tümüne agregat denmektedir. Agregat sert, dayanıklı ve boşluksuz olmalı, zayıf taneler (deniz kabuğu, odun, kömür), toz, toprak vb. maddeler içermemesi, çimentoyla zararlı reaksiyona girmemesi, basınca ve aşınmaya karşı dayanıklı olması beklenir. Agregat üretiminin yaşadığımız dünyanın şekillenmesi açısından çok önemli bir yere sahiptir. Dünya genelinde kişi başına tüketilen doğal maddelerin başında su ve agregat gelmektedir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de madencilik sektöründe agregat önemli bir yere sahiptir. Üretilen malzemenin yaklaşık %65 ini agregat oluşturmaktadır. Bu bildiride, ülke genelindeki agregat sektörünü, agreganın kullanım alanları, çevresel etkileri, agregat üretiminde hukuksal sorunlar, sorunları, çözüm önerileri, elde edilen istatistikî bilgiler derlenerek genel bir yaklaşım hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Agregat, Agregat Çeşitleri, Agregat Üretimi, Agregat Ruhsatları,

ABSTRACT Recently, the construction sector has been demonstrated as a sector that is acknowledged as an indicator of development and directly affects the economical improvements. The aggregate industry is the leading sector of the construction sector. Materials such as sand, gravel and crushed Stones are called as aggregate materials. The aggregate materials should possess the following properties; stiff, durable, contain on no cavity, weak grain (shell, wood, coal etc.) and dust/soil like materials. Moreover, it is expected for aggregate materials not to react detrimentally wit cement and to be stable against pressure and abrasion. Aggregate production has a very important role in regard to the formation of the world we live in. The leading consumed natural materials are water and aggregate per capita worldwide. As is the case with the world, the aggregate production occupy an important position in our country's mining sector. The %65 of the extracted materials comprises of the aggregate materials. In this paper, the aggregate sector in nationwide, the utilization area as of aggregates, environmental impacts, the legal issues of aggregate production, their problems, solutions are aimed as an overall approach by compiling the acquired statistical data.

Key Words; Aggregate, Aggregate varieties, Aggregate production, Aggregate licenses

1 GİRİŞ

Ülkemizde de son yıllarda köyden kente nüfus akımının meydana gelmiş olması, ev kredilerinin uygun olması, ülkemizde nüfus artışı sonucu olarak inşaat sektöründeki büyüme ve gelişme göstermesi, bölünmüş yollar, otobanlar, havaalanı inşaatları, hızlı tren yol yapımının hızlanması ve benzer nedenlerle agrega talebinde büyük artışlar olmuştur. Kalker, bazalt, andezit, dolomit, mermer gibi, inşaat sektörünün agrega ihtiyacına cevap verecek cinsten taşlar ülkemizde bol miktarda bulunmaktadır. Sektör için gerekli bilginin hızla üretilmesi ve yaygınlaştırılması, malzeme üretim tekniklerinin ve kullanım alanlarının standartlaştırılması, sektördeki iş gücü ve eğitim kalitesinin yükseltilmesi gibi ihtiyaçların organize edilmesinin yanında, agrega ocaklarının ruhsatlandırılması, projelendirilmesi, tasarımı, denetimi de çok önem arz etmektedir.

Ocak yerinin seçimi, sahada rezerv tespit çalışmaları(sondaj çalışmaları), numune alınarak deneysel çalışmaların yapılması, tesis seçimi, kurulumu, (montaj ve söküm), atıl duruma düşen tesisler, mermer ocaklarının pasalarının değerlendirilmesi gibi konularında planlamasının projelendirme aşamasında değerlendirilmesi gerekmektedir. Beton yapımında en pahalı malzeme olarak karşımıza çimento çıkmaktadır. Agrega ise beton karışımının hazırlanmasında en ucuz malzeme olmaktadır. Betonun kalitesine göre agrega miktarı seçimi yapılabilmektedir. Agrega miktarı ve özelliklerinden dolayı betonun teknik özellikleri de belirlenebilmektedir.

Agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri, betonun tüm özelliklerine ya doğrudan

doğruya ya da dolaylı bir biçimde etki etmektedir. Hazır beton üreticilerinin temel taleplerinden biri olan kaliteli agrega temini giderek büyüyen bir sorun haline gelmektedir. Ülkemizdeki agrega ocakları hızla gelişen hazır beton endüstrisinin kalite taleplerine cevap verirken zorlanmaktadır. (Beton_Bileşenleri,2016)

İnşaat sektörü başta olmak üzere, boya, kâğıt, yem, gübre, tarım gibi birçok farklı alanda kullanılan agregaya olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Ülkemizde ekonominin ve yaşam kalitesinin gelişmesinde Agrega madenciliği çok önemli bir yere sahiptir. Dünya genelinde Agrega üretimi tüm madencilik faaliyetleri arasında birinci sırada yer almaktadır. Agrega üretimi açık maden işletmeciliği yöntemiyle yapıldığından, faaliyetin doğası gereği çalışılan alanda topografyanın değişmesi kaçınılmazdır. Agrega üretimi diğer tüm açık ocak madencilik faaliyetleri gibi hafriyat, delme, patlatma ve boyut küçültme süreçlerini içerir. Agrega madenciliği, diğer sanayi yatırımları gibi istenilen herhangi bir yerde yapılabilme alternatifine sahip değildir. Ham madde olarak kullanım amacına uygun fiziksel, mekanik, kimyasal ve mineralojik özelliklere sahip rezervler buldukları yerlerde işletilmek zorundadır. (Agrega bülteni Mayıs 2016)

Avrupa'da kişi başına yıllık 7 ton Agrega ihtiyacı varken, ülkemizde 6 ton/yıl civarındadır. Mega projelerdeki Agrega ihtiyaçlarına baktığımızda; 3. Köprü için 5 milyon ton, Kuzey Marmara otoyolu projesi için 3,5 milyon ton ve 3. Havaalanının ihtiyacı 12 milyon ton civarında olacaktır. Kentsel dönüşüm projelerinde sadece İstanbul için 150 milyon ton civarında Agregaya ihtiyaç olacağı tahmin edilmektedir. Bu projelerin

hayata geçirilmesi için gerekli Agreganın nasıl ve nereden temin edileceği ve bunun sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yönelik çalışmalar yapılmalı, sektörün içinde bulunduğu koşullar değerlendirilerek gerekli olan girişimler tüm paydaşlar tarafından acilen hayata geçirilmelidir. (Agrega bülteni Mayıs 2016)

1 AGREGA ÇEŞİTLERİ

Agregalar doğada, doğal olarak buldukları gibi iri taş parçalarının konkasör adı verilen taş kırma makinelerinde kırılması sonucunda da elde edilebilirler. Konkasörde elde edilen agreganın irisine kırmataş incesine de kırma kum denir. Kırmataş ve kırmakum'a mıcır adı verilir. Çizelge 1'de boyutlandırılmış hali görülmektedir.

Çizelge 1: Mıcır Numaraları ve Çarpanları

Mıcır	Üzerinde kaldığı elek çapı (mm)	Geçtiği en küçük elek çapı (mm)
1 No	4	12
2 No	12	24
3 No	24	30
4 No	30	40

1.1 Çıkarıldıkları Yere Göre Sınıflandırma

Akarsu yatakları, ' Deniz, ' Buzul, ' Teras agregası olarak gruplandırılır.

1.2 Özgül Ağırlık Ve Birim Ağırlıklarına Göre Sınıflandırma

a) Hafif Agregalar: b) Ağır Agregalar: c) Normal Agregalar:

1.2.1 Hafif Agregalar: Birim ağırlığı 2,4 ton/m³ ten küçüktür ve hafif beton elde etmek için kullanılırlar. Bu agregaları sünger taşı, (Ponza bims), volkan tüfleri, diyatamit, yüksek fırın cürufu ve genişleştirilmiş kil, perlit, şist vb. isimler altında sıralayabiliriz.

1.2.2 Ağır Agregalar: İhtiyaca göre ağır beton elde etmek için kullanılırlar. Birim ağırlıkları



Şekil 1: Agregat ocağından görünüm (Kalker mıcır ocağı)

2,8 ton/m³ ten büyüktür. Örneğin, doğal ağır agregalar arasında barit, manyetit, hematit, limonit sayılabilir. Yapay ağır agregalara ise, demir ve çelik hurdasını örnek verebiliriz.

1.2.3 Normal Agregalar: Birim ağırlıkları 2,4-2,8 ton/m³ arasında olan agregalardır. Uygulamada en çok kullanılan agregat çeşididir.

1.3 Boyutlarına Göre Sınıflandırma

a) İnce agregalar (kum): b) İri agregalar (çakıl): c) Karışık (Tüvenan) Agregalar:

1.3.1 İnce Agregalar: (Kum) Doğal kum, kırma kum veya bunların karışımından elde edilen 4 mm çaplı elekten alta geçen malzemelerdir.

1.3.2 İri Agregalar (Çakıl) Kırmataş, çakıl veya bunların karışımından elde edilen ve 4 mm çaplı eleğin üstünde kalan malzemelerdir.

1.3.3 Karışık (Tüvenan) Agregalar Doğal agregat ocağından doğrudan doğruya elde

edilen elenmemiş ince ve iri agrega karışımıdır. Standartlar ve şartnameler zorunlu kalmadıkça karışık agrega kullanılması istenmemektedir. (Çullu,2016)

2 AGREGA KULLANIM ALANLARI

Agrega; Konut, Sanayi tesisleri, Hastane gibi her türlü bina inşaatını, Boru hattı, Beton santrallerinde, Sathi kaplama, Karayolu yapımında, köprülerde, Zemin kaplama alanlarında, Demir yollarından, Sıcak asfalt yapımında, Havaalanlarında, Liman yapımında, Baraj inşaatlarında, her türlü fabrika yapımında, şeker fabrikalarında altyapı faaliyetlerini kapsayan geniş bir faaliyet alanına sahip olan inşaat sektörünün bir parçası olan beton imalatının ve asfalt üretiminin en önemli hammaddesidir. (İnci_Grup,2016)

3 ÜRETİM YÖNTEMİ VE TEKNOLOJİ

Günümüz agrega ocak işletmeciliğinde kaliteye dayanan sert bir rekabet yaşanmaktadır. İkel yöntemlerle çalışan işletmelerin pazar payları hızla düşerken yeni teknolojileri akılcı bir şekilde uygulayan işletmelerin sektördeki konumu güçlenmektedir.

Ocak verimi ve maliyetlerini belirleyen en önemli unsur üretimin ilk aşaması olan delme patlatma işlemidir. İş güvenliği ve minimum toplam maliyetin sağlanması bu işlemin optimizasyonu ile mümkün olmaktadır. Toplam maliyeti oluşturan delme, patlatma, yükleme, taşıma ve kırma operasyonlarında yapılacak gerçekçi maliyet analizleri, işletmenin ana amacı olan minimum toplam maliyetin elde edilmesinde büyük önem taşımaktadır. Artan sanayileşme ve şehirleşme sonucu kırmatışa olan talep hem kalite hem de miktar olarak artmıştır. Kaliteden ödün verilmeden bu talebin karşılanması agrega ocak işletmeciliğinde minimum toplam maliyet ile istenilen boyutlarda maksimum malzeme elde edilmesi

üretimin ilk aşaması olan delme-patlatma işleminin optimizasyonu ile olasıdır.

İşletmede, toplam maliyeti oluşturan kalemler ayrı ayrı incelendiğinde, en yüksek kalemin kırma işleminden kaynaklandığı görülmüştür. Kırıcıya beslenen malzemenin tane boyutu kırma işleminin verimini ve maliyetini tayin etmektedir.(Tek,1999)

ABD’de kırmatış üretiminin %5’i yeraltı işletmesi ile elde edilmekte olup Türkiye’de tamamı açık ocak işletmeciliğiyle elde edilmektedir. İdeal açık işletmecilik önce toprak ve bitki örtüsünün kaldırılıp yakın bir yerde depolanması, istihraç sonrası işletilen ocak sahasının tekrar ağaçlandırılması şeklinde olmalıdır. Son yıllarda gelişen malzeme teknolojisine paralel olarak geliştirilen özel kesici uçlar yardımı ile açık ocak işletmelerinde kazı ve yüklemeyi aynı anda yapan, delme-patlatma işlemlerini ortadan kaldıran ve bu nedenle yerleşim birimlerine daha yakın ocak açmayı mümkün kılan makineler (continuous miner) kullanıma sunulmuştur.(Alp,2004)

Ülkemizde ise yeraltı üretim yöntemi ile çalışan agrega ocağı bulunmamaktadır. Trabzon ili dâhilindeki bir kalker ocağı için yeraltı projesi hazırlanmış ama uygulamaya geçilmemiştir. Özellikle doğal topografyadan dolayı çalışma alanlarının kısıtlı olduğu bölgelerde yeraltı işletme yöntemi uygulanabilir.

4 AGREGA RUHSATLARININ DAĞILIMI, ÜRETİM MİKTARLARI VE OLUŞAN DEVLET HAKLARI

Ülkemizde agrega üretimi ve diğer sektörlerin hammadde temini için alınan maden ruhsat sayıları aşağıdaki Çizelge 2’de verilmektedir.

Çizelge 2:Maden Grubu Göre Türkiye Geneli Ruhsat Dağılımı(MİGEM,2016)

	I(b) Grubu	II(a) Grubu	II(B) Grubu	III. Grup	IV. Grup	V. Grup	Toplam
Arama Ruhsatları	0	182	1543	10	4519	25	6.279

İşletme Ruhsatları	859	4.462	3.546	60	4.024	10	13.018
Toplam ruhsat sayıları	859	4.644	5.089	70	8.543	35	19.297
İşletme izni olanlar	569	2.889	2.554	56	3.093	6	9.220
Hammadde Üretim İzinleri	992	2.629	16	0	21	0	6.234

Türkiye genelinde maden ruhsatlarının üçte birini agrega ruhsatları teşkil etmektedir. II(a) Grubunda işletme izni mevcut olan 2889 adet maden ruhsatı ile 2629 adet HÜİB saha mevcuttur. Çizelge 3'te de görüleceği üzere II(a) Grubu işletme izinli sahaya yakın Kamu kurum ve kuruluşlarına verilen HÜİB olduğu görülmektedir.

Çizelge 3: 2010-2014 yılları arası çimento hammaddesi üretimi(MİGEM,2015)

Sıra No	Maden Adı	Üretim					
		2010	2011	2012	2013	2014	Birim
1	Kalker	277.442.088	247.014.704	265.344.012	262.372.399	262.467.709	ton
2	Dolomit	8.908.871	6.127.473	8.358.898	15.453.003	9.809.882	ton
3	Dolomit	35.224.548	20.342.135	15.950.079	17.291.454	15.242.710	ton
4	Mermer	11.784.022	11.962.292	13.395.844	16.604.321	13.930.872	ton
5	Kil	8.711.052	13.494.199	8.525.809	11.261.269	10.377.722	ton
6	Porfirit	102.843	116.462	68.281	101.872	909.398	ton
7	Taş	2.088.942	2.432.663	1.800.021	2.886.748	2.848.213	ton
8	İsotermik İsoit	787.889	804.888	728.178	718.844	787.108	ton
9	Diğer Çimento Ham Maddeleri	2.493.198	2.772.718	2.480.421	2.833.200	3.840.234	ton
10	İsotermik İsoit	51.981.098	37.476.098	15.242.005	19.610.763	19.261.002	ton
11	ANKON (İsoit)	2.648.100	1.948.014	2.303.973	1.900.716	3.223.903	ton
12	Bingöl Grubu'nun Kömürüne İlişkin Araştırma ve Deney Madenleri	474.111	878.848	406.004	1.801.803	701.960	ton
13	Tuzla Kiremit Kil	8.013.844	11.037.204	16.850.199	8.877.788	11.129.461	ton
TOPLAM		328.958.844	314.918.891	334.468.912	348.693.282	371.718.288	ton

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere agrega olarak değerlendirilen kalker, dolomit, bazalt(mıcır) ve andezit(mıcır) üretimleri yıllar itibari ile çimento ihtiyacının artmasına bağlı olarak değişim göstermektedir.

Çizelge 4: 2011-2014 Yılları Arası II(a) Grubu Ruhsatlarda Yapılan Üretimler (MİGEM,2015)

YILLAR	Üretim Miktarları (ton/yıl)
2011	403.745.876
2012	395.316.001
2013	459.656.596
2014	493.460.985

Ülkemizin inşaat sektöründeki gelişmelere bağlı olarak agrega üretiminin yıllar bazında artışı görülmektedir. Çizelge 4'te de görüleceği üzere agrega sektörü 493 milyon ton/yıl üretim ile ülkemizin en önemli madencilik faaliyeti olarak 25.000'den fazla kişiye doğrudan istihdam sağlayan, 3,5 milyar liralık bir sektördür. Devlet hakkı ödemesinde 154 milyon TL ile Agrega Madenciliği 2. sırada yer almaktadır. (Agrega Bülteni Mayıs 2016)

Çizelge 5: 2011-2014 Yılları Arası II(a) Grubu Ruhsatlar İçin Oluşan Devlet Hakları (MİGEM,2015)

YILLAR	Agrega ruhsatları için oluşan devlet hakları	Tüm ruhsatlar için oluşan devlet hakları
2011	93.776.811 TL	297.874.209 TL
2012	111.362.311 TL	334.896.089 TL
2013	139.563.861 TL	389.695.880 TL
2014	154.267.749 TL	434.366.689 TL

Çizelgeden de anlaşılacağı üzere agrega ruhsatlarından oluşan devlet hakları, tüm ruhsatların devlet hakkının 1/3 düzeyindedir.

5 SÜRDÜRÜLEBİLİR AGREGA ÜRETİMİ İÇİN ANAHTAR PARAMETRELER

"Sürdürülebilir kalkınma" esas olarak, bir ülkenin doğal kaynaklarını tüketmeden ekonomik ve sosyal kalkınmayı başarabilmesidir. Ruhsat ve gerekli izin belgelerinin dışında, bölgede agrega üretimi, yerel yönetim ve yöre halkı tarafından da onaylanmalıdır. Sürdürülebilir agrega üretimi için anahtar parametreler aşağıda sıralanmıştır (Agrega Bülteni Mayıs 2016).

5.1 Strateji ve Metodoloji Geliştirilmesi

Sürdürülebilir çevre için, agrega üretiminin sürdürülebilir yönetimi önemlidir. Agrega üreticilerinin yeni strateji ve metodoloji geliştirmeleri aşağıdaki hususlar bakımından önemlidir.

Sosyal ve doğal çevreyi en az etkileyecek agrega üretimi yapılmalıdır. Yöre halkı daha çok dikkate alınmalıdır.

Ocak aktivitelerinden etkilenecek doğal ve sosyal çevreyi korumak için kanunlar gittikçe ağırlaşmaktadır.

Agrega üreticileri, agrega kalitesi ve ticari değer açısından daha çok rekabetle karşılaşacaktır. Özetle, üreticiler, sürdürülebilirlik yönünde agrega üretimi için uygulanabilir metodoloji, tutum ve stratejiyi mutlaka geliştirmelidirler. (Agrega Bülteni Mayıs 2016)

5.2 İyi Uygulama (Sürdürülebilir Verimli Üretim)

İyi uygulama (good practice) terimi "ulaşılabilir en iyi teknikleri kullanarak uygulanan prosedür ve proseslerin olumsuz etkilerini azaltmak için geliştirilmiş ideal stratejidir. Bu strateji, üretim, kapanış ve rehabilitasyon sürecinde uygulanabilir. Olmalıdır" şeklinde tanımlanmıştır. İyi uygulama tamamıyla çevre koşullarını korumaya yönelik hedefli olan ve daha sağlıklı ve güvenli çalışma alanlarını öncelik veren kurallar ile kurgulanmıştır. (Agrega Bülteni Mayıs 2016)

5.2.1 Planlama

Agrega ocak aktivitelerinin, ilgili tüm kanunları, teknik, çevresel, ekonomik ve sosyal faktörleri dikkate alan, ayrıntılı ve erken planlaması, girişimin başarılı olması için anahtar parametredir. Planlama ile ilgili öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Erken ve organize planlama, yasal zorunlulukları göz önünde bulundurma, arazi kullanımı ve yönetimi için kritik evrelerin tanımlanması

- Bölgesel değerlendirme raporlarının hazırlanması ve ayrıntılı çevresel etkilerin değerlendirilmesi

- Genel bir stratejinin geliştirilmesi ve sahaların kullanılması sonrasında uygulanacak rehabilitasyon planlarının baştan itibaren hazır tutulması

- Planlama için dijital araç ve gereçlerin hazırlanması

- Projenin uygulanması sırasında olabildiğince çok yeni teknolojilerin kullanılması

- Planlamanın en erken evrelerinde karşılaşılabilecek toplumsal engeller belirlenmeli ve bu engelleri ortadan kaldırma için çalışmalar yapılmalı

- Başarıyla sonuçlanmış diğer projeler takip edilerek, problem ve zorluklar avantajla çevrilmelidir.

5.2.2 Patlatma

Modern, etkin ve güvenli patlatma tekniklerinin uygulanması önemlidir. Patlatma ile ilgili öneriler aşağıda sıralanmıştır.

Titreşimi azaltmak için sıralı patlatma uygulaması,

Sesi azaltmak için modern teknoloji kullanımı,

Titreşim ve ses kayıtlarının devamlı olarak kaydedilmesi,

Patlatma sırasında etrafa fırlayan kayaç parçalarını azaltmak, patlatma ve yükleme maliyetini düşürmek ve kazılan malzemelerin boyutlarını kontrol etmek için iyi bir patlatma dizaynı sağlamak,

5.2.3 Hava kirliliği

Geniş ocak alanlarında, hava kirliliği başlıca toz ve CO2 emisyonundan kaynaklanmaktadır. Hava kirliliği ile ilgili öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Kırma-emeleme tesisleri hakim rüzgar yönü dikkate alınarak konumlandırılman,

- Toz ve gaz emisyonu azalmasına yönelik ölçümler yapılmalı,
- İnce atık malzemelerin toplanması için toz tutma sisteminin kullanılması,
- Kırıcı ve eleklerin kapalı sistem haline getirilmesi,
- Yolların ve çukur alanların ıslatılması,
- Ocak içerisinde taşınan malzemelerin üstünün kapatılması veya nemlendirilmesi,
 - Ocak dışına taşınan malzemelerin yüklü olduğu kamyonların kapalı sisteme veya toz bastırma sistemlerine sahip olmalarıdır. (Agrega Bülteni Mayıs 2016)

5.2.4 Gürültü kirliliği

Agrega ocaklarında gürültü kirliliği genel olarak ocak sahasındaki patlatma, kırma-eleme tesisleri veya nakliye araçlarından kaynaklanmaktadır. Gürültü kirliliği ile ilgili öneriler aşağıdadır.

- Çıkan sesin düzenli olarak kaydedilmesi ve sonuçların yasal sınırlar içinde kalmasının sağlanması
- Ses bastırma sisteminin kullanılması
- Gereksiz seslerin engellenmesi ve ses emisyonunun azaltılması
- Yerleşim yerlerine yakın alanlarda geceleri çalışmaya ara verilmesi
- Uygun patlatma tekniği ve patlatıcının kullanılması

5.2.5 Ocak atıkları

Agrega ocak atıkları, işletilen kayacın bileşimine, yapısal özelliklerine, ayrışma durumuna, uygulanan patlatma yöntemi ile kırma-eleme tesisinin işletilen kayaca uygunluğuna, ve bölgedeki agregatör (boyut ve özellik) talebine bağlıdır. Ocak atıkları ile ilgili yapılması gerekenler aşağıda verilmiştir.

- Atıkların mümkün olduğunca kullanılmasını sağlanması, Ocakların işletilmesi sırasında atık yönetiminin planlanması
- Arazinin düzenlenmesi ve atık alanlarının bitkilendirilmesi
- Üretilen ince maddelerin pazarlanması

5.2.6 Nakliye

Ülkemizde agregaların nakliyesi ağırlıklı olarak kamyonlarla yapılmaktadır. Kamyonlar gürültü ve hava kirliliğine neden olmalarının yanısıra, yollara zarar vermekte ve özellikle İstanbul gibi büyük şehirlerde trafik yoğunluğunu artırmaktadır. Öte yandan kamyon nakliyesinin maliyeti daha yüksektir. Bu bağlamda sürdürülebilirliğe ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan zararları söz konusudur. Nakliye ile ilgili öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Alternatif yolları belirlemesi, ses ve toz önleme ile ilgili planlamaların yapılması
- Nakliye mesafesinin en aza indirilmesi (mümkün olduğunca çimento, beton ve asfalt vb. tesislerinin agregatör ocaklarının yakınına tesis edilmesiyle agregatör taşımacılığının azaltılması)
- Günün trafik açısından en durgun olduğu saatlerde agregatör nakliyesinin yapılması
- Uzun mesafeli nakliyeler için demiryolu veya denizyolu gibi alternatif yolların araştırılması
- Ocaktan çıkan kamyonların temizlenmesi (örn. tekerleklerinde çamur olmaması)

5.2.7 Su

Agregatör ocaklarında su, eleme ve yıkama tesislerinde yaygınca kullanılmaktadır. Öte yandan diğer atık sular da (örn. petrol ürünleri, kanalizasyon, diğer yıkama suları vb.) mevcuttur. Ocak yerindeki atık sulardan yüzey ve yeraltı sularının korunması gerekmektedir. Su

- Yüzey ve yer altı sularının kalitesinin belirlenmesi
- Su kalite ölçüm istasyonlarının kurulması ve sürekli ölçüm alınması
- Yer altı sularına zararlı maddelerin karışmaması için su kalitesini korumaya yönelik yapıların kullanılması, örn. servis

bakım alanının geçirimsiz jeotekstil ürünleriyle kaplanması

- Su kalitesindeki değişimlerin takip edilmesi için hidrojeolojik çalışmaların yapılması

5.2.8 Toplumsal uygulamalar

Agrega üreticilerin sadece yasalarla belirlenmiş uygulamaları yapmayıp, bölge halkı ile de sürekli iletişim içinde olmaları önemlidir. Toplumsal uygulamalar ile ilgili öneriler aşağıda verilmiştir.

Planlama safhasında toplumun olumlu görüşünün sağlanması

Yerel yönetimlerin isteklerinin dikkate alınması

Bölgesel paydaşlarla güçlü bir iletişimin kurulması

İnsanların ve hayvanların yaşam alanlarına zarar verilmemesi, iş tamamlanınca doğanın mümkün olduğunca eski haline dönüştürülmesi.

5.2.9 Rehabilitasyon

Ocak alanının rehabilitasyonu için minimum gereksinimler sağlanırken, kanunların ötesinde arazinin mümkün olduğunca eski görünümünün kazandırılması sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Restorasyon ile ilgili öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Doğanın koruması ile ocak aktiviteleri arasında bir denge sağlanması,
- Ocak çalışmaları sırasında rehabilitasyon çalışmalarının da yürütülmesi,
- Yerel yönetimlerle ve bölgesel paydaşlarla rehabilitasyon uygulamalarının görüşülmesi ve tartışılması,
- Ocağın kapatılmasından sonra ocak alanı ve çevresinde yapılabilecek rehabilitasyon çalışmalarının planlanması,
- Ocak alanının farklı amaçlar için rehabilite edilmesi, (örn. derin ve geçirimsiz bir tabanı olan ocak sahasının göle çevrilmesi vb.),
- Kalıcı bir kirliliğe izin verilmemesi,
- Yeni türler için yeşil alan oluşturulması,

- Ocağın işletilmesi sırasında yeni canlı türlerinin oluşması için yeni bitki fidanlıklarının oluşturulması (Agrega Bülteni Mayıs 2016).

6 AGREGA FAALİYETLERİNİN HUKUKSAL SÜRECİ

Münhasıran taşocaklarının işletilmesine yönelik olarak ilk ve tek yasal düzenleme 27 Teşrinisani 1303 (1887) tarihinde yapılan Taşocakları Nizamnamesidir. Böylece, yol ve inşaat yapımında kullanılan kum, çakıl, tuğla toprağı ve benzeri maddelerin işletilmesi ile madenlerin arama ve işletilmesi ayrı hukuki rejimlere tabi tutulmuştur. Bu düzenlemelerle madenler merkezi yönetimin, taşocakları malzemeleri yerel yönetimlere (İl özel idareleri) tasarrufuna bırakılmıştır.

Maden Kanununda 1906, 1942, 1954, 1985, 2004, 2010 ve 2015 yıllarında günün ihtiyaçlarına göre köklü değişiklikler yapılmıştır. Bu ana değişikliğin yanında onlarca ekleme ve çıkarma şeklinde ara değişiklikler de yapılmıştır. Özellikle 5177 sayılı yasayla 2004 yılında yapılan değişiklik. Taşocakları Nizamnamesi, bir iki küçük değişiklik dışında 2004 yılına kadar ilk şeklini muhafaza etmiştir. 26.05.2004 tarihinde yürürlükten kaldırılmıştır. Madenlerin ve agrega hammaddelerinin aynı kanun hükümlerine göre çıkarılması sağlanmıştır. (Kula,2015)

Agrega işletmeciliği Maden Kanunu kapsamına alınmakla birlikte hukuki ve yatırım güvencesine kavuşmamıştır. Eski kanundan gelen mermer ruhsatlarına agrega hakkının kısıtlanmaması nedeniyle çok sayıda ruhsat alınmış olması bu alandaki istikrarı bozmuştur. Madencilikle ilgisi olan veya olmayan çok sayıda kişi tarafından alınan ruhsatlar görüntü kirliliğine, vahşi rekabet yarışına neden olmuştur.

Fiyat ve kalitenin düşmesine yol açmıştır. Birçok yatırımcının yarı yolda işi bırakmak zorunda kalınmasına yol açmıştır. İdare uygulamalarıyla buna bir disiplin getirmeye

çalışıldıysa da yasal altyapıyla uyum sağlanamamıştır. Yasa ve yönetmelik değişiklikleriyle aşmaya çalışılmıştır. (Kula,2015)

26.05.2004 tarihinde çıkarılan 5177 sayılı Kanun, 10.06.2010 tarihinde çıkarılan 5995 sayılı Kanun ve 04.02.2015 tarihinde çıkarılan 6592 sayılı kanunların ana konularından birisi agrega işletmeciliği ile ilgili madenler olmuştur.(Kula,2015) Bu kapsamda çıkarılan kanun ve ilgili yönetmeliklerin de ana konularından birisi agrega olmuştur.

7 AGREGA ÜRETİMİNDE HUKUKSAL SORUNLAR

7.1 Maden Ruhsatı Veren Kurumların Uygulamalarından Doğan Sorunlar

I (a) Grubu Maden ruhsatlarının verilmesi konusunda yetki 3213 Sayılı Maden Kanununu dairesinde, 6360 sayılı Büyükşehir Belediyelerinde değişiklik Yapılmasına Dair Kanuna göre valilikler bünyesinde oluşturulan Birimler, 5302 sayılı İl Özel İdare Kanununa göre Kurulan İl Özel İdareleri tarafından verilmektedir. Ruhsatların verilmesi ve denetimi 3213 sayılı Maden Kanununa göre olsa da 81 ilde 81 değişik uygulama ile karşılaşılabilir. Ruhsatın ihale ile verileceği hükümünden dolayı işlemler politik ve başkaca etkileşimlere açık olabilmektedir. İşletme ruhsatı süresi beş yıldır. Bu süre büyük yatırım gerektiren işletme hakkı için yeterli güvence sağlamamaktadır. Yasada 5 yılsonunda yenileme başvurusunun kabulü, "idarenin uygun görmesi" şartına bağlanmıştır. Son değişiklikle II(a) Grubu Madenlerin ihaleyle verilecek olması da uygulamada ihalenin iptali gibi durumlarla karşılaşılabilir. (Kula, 2016) Başbakanlık tarafından 2012 yılında yürürlüğe konulan Genelgeyle hala günümüzde ruhsat düzenlemelerinde ve devir edilmesinde çeşitli problemlere neden olmaktadır. istenilene ruhsat verilmekte,

istenilmeyene ruhsat verilmemektedir. (Kula,2015)

7.2 Kanununun 7. Maddesine Göre İzin Alma Sürecinde Yaşanan Sorunlar

Maden İşletme ruhsatı aldığı halde, ÇED belgesi, orman izni, işyeri açma, özel mülkiyet sahibinden izin, imar alanında çalışabilmek için belediye izni, mera vasfının değiştirilmesi gibi izin ve belgelerin alınması gerekmektedir.

Birçok yerde bu izinler gereksiz olarak verilmeyebilmektedir. Dava itiraz gibi süreçlerin çok uzun olması nedeniyle yatırım yapılamamaktadır. Birçok ruhsat bu nedenle 5 sene içinde 3 sene faaliyet yapmamaktan iptal konumuna gelen ruhsatlar olmuştur.(Kula, 2015)

7.3 Kamu Kurumlarına Verilen Hammadde Üretim Belgesi ile İlgili Sorunlar

Mevcut ruhsatlar üzerine Maden Kanununun 14. Maddesine göre kamu kurumlarına hammadde izin belgesi verilerek, maden ruhsatlarının üretimleri kısıtlanabilmektedir. Kamu Kurumları ÇED, işyeri açma belgesi, orman izni gibi izinleri özel sektöre nazaran daha kolaylıkla alabilmektedir.

7.4 Kamuoyunda Yaşanan İmaj Sorunu

Kamuoyu tarafından madencilik çevreye yaptığı etki yönüyle bilinmektedir. Ülke kalkınmasındaki rolü, hayatın devamı için zaruri olması ve diğer faydaları hiçbir şekilde gündeme gelmediği için peşinen olumsuzluklarla mahkûm edilmektedir.

Maden sektörünün üretim çalışmaları sırasında dikkatsiz ve hoyrat çalışmaları ile bu imaja katkı sağladığı da bir gerçektir. Gerekli tedbirlerin alınmaması nedeniyle yaşanan trajik kaza ve ölümler olumsuz imajın yerleşmesini sağlamaktadır.(Kula, 2016)

Agrega üreticilerinin güçlü bir lobisi olmadığından, yasalarla ve bilimsel çalışmalarla ortaya konulan çerçeve içinde gerekli tedbirleri alarak madencilik yapmamakta

devam edilmesi sebebi ile olumsuzluklardan kurtulamamaktadırlar. Bu aşamada kamu kurumlarına, kuruluşlarına, özel sektöre ve meslek kuruluşlarına daha çok iş düşmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde agrega üretimi her geçen gün artarak devam etmektedir. Rezervlerimizin yeterli olmasına rağmen faaliyetlerin uygun şekilde yapılmadığı görülmektedir.

Yeni düzenleme ile hazırlık ve üretim çalışmaları sırasında, ocağının kapasitesine bağlı olarak en az (bir) Maden Mühendisinin daimi nezaretçi olarak çalışması da faaliyetlerin kontrolü açısından daha yararlı olacaktır. Delme patlatma faaliyetlerinin de projesine uygun şekilde yapılması. Ayrıca, yapılacak patlatmalar sırasında çevreyi ve en az etkileyecek patlayıcı madde miktarının belirlenmesi için araştırmalar yapılmalı ve uluslararası standartlardan yararlanılarak en uygun patlayıcı miktarının belirlenmelidir. Kırma eleme tesislerinde “Geçici 7. Maddenin 2. Fıkrası II (a) Grubunda ve patlatma yapılarak I (b) Grubu madenlerin üretildiği ruhsat sahalarındaki kırma-eleme tesislerinde; 31/12/2012 tarihine kadar toz indirgeme sistemi kurulması ve bunkerler, kırıcılar, elekler ve malzeme dökülme noktalarının kapatılması işlemi tamamlanarak Genel Müdürlüğe bilgi verilmesi zorunludur. Bu süre içinde toz indirgeme sistemi kurulmadığı ve bunkerler, kırıcılar, elekler ve malzeme dökülme noktalarının kapatılmadığı tespit edilen tesislerin faaliyetleri durdurulur” hükmü gereği, kuruluşların yapılması, İşletme içindeki yolların sürekli sulanması ile bastırılmalıdır.

Agrega üretiminde her ocak için ayrı konkasör tesisi kurulumu yapıldığı, üretim faaliyetlerinin sona ermesi durumunda konkasör tesislerinin ellerinde kaldığı ve bunların tekrar değerlendirilmediğinden bir sürü konkasör tesisinin atıl durumda

kalmaktadır. Seyyar tesisler seçilmesi ve 2. El tesislerinde kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi gerektiği, Agregada üretiminde verimliliği artırmak için teknolojik gelişmelerin izlenmesi, İş Sağlığı ve Güvenliğini öncelikli hale getirmek, Yörede açılmış mermer ocağı bulunması durumunda mermer ocağının pasalarının molozlarının değerlendirilmesi daha uygun olacaktır. Yeni bir ocak açılmasına gerek kalmayacaktır.

- Ocak tasarımının iyi planlanmaması,
- Eski taş ocaklarının restorasyonunun yapılmamış olması,
- İhtiyaç fazlası ocak açılması,
- Hammadde ihtiyacı için faaliyette bulunulan ocakların gelişi güzel dağınık çalışması,
- Şevlerin düzensiz ve yüksek olması, şev açısının ve ocak genel şev açısının çok fazla olması,
- Ocak yeri belirlenmesinde ön görünüme göre seçim yapılmaması,
- Eğitimsiz personel çalıştırılması,
- İSG kurallarına gerekli özenin gösterilmemesi,
- Restorasyon çalışmalarının gerekli şekilde yapılmaması gibi sorunlarla karşılaşmaktadır.

Hazırlanan işletme projesinde ocak planlaması, çalışma şekli, şevlerin tasarımı, gibi konularda detaylandırılması gerektiği, Detaylandırma çalışması verilerinin tamamıyla her saha için yerinde tespit yapılarak hazırlanması, özellikle sondaj çalışması yapılarak rezervle ilgili detaylı bilgi verilmesi,

Projenin uygulamaya geçildiğinde gerekli zamanlarda revize proje verilmesi, (fayla karşılaşıldığında, zeminde farklılıklar meydana geldiğinde vb.)

Detaylı işletme projesi hazırlanırken topoğrafyadaki farklılıklardan dolayı şev duraylılığı ile ilgili durumlar oluşmasında uzman kuruluşlardan (Üniversitelerden) yardım alınarak projelendirme yapılması, Uzman kuruluşlar tarafından hazırlanan

projelerin üretim esnasında ve restorasyon sürecinde de takibinin yapılması,

İşletme projesi hazırlanırken İSG ile ilgili bir bölüm oluşturulması,

Restorasyon çalışmalarının ocağın faaliyetlerinin sonlanması beklenilmeden, yer değişikliği yapıldığında genişletme çalışmaları yapıldığında üretim faaliyetleri esnasında üretimi tamamlanan alanlarda restorasyon çalışmalarının da yapılması,

Pasaların ve atık malzemelerin uygun yerlerde depolanması, en üst seviyedeki nebati toprak tabakasının tekrar kullanılabilmesi için ayrı yerde depolanması, elek altından çıkan balansı ayrı depolanması,

Faaliyetleri durdurulan ocaklarda öncelikle faaliyetlerin durdurma sebebi ile ilgili hususlarda çalışma yapılması, (Madden Kanunu 29. Maddeden durdurulmuş ise önlemlerini ona göre alınması, şevler yüksekse kademelendirme yapılması vb.)

Kamu kurumları, kuruluşları, özel sektör, ve meslek kuruluşları tarafından da restorasyon çalışmaları ve İSG konularında öncü olarak rehberlik çalışması yapılması uygun olacaktır.

Kırmetaş Sempozyumu'99, İstanbul-1999, ISBN B.L6.0.KGM.O.63.O0.03/606 1

KAYNAKLAR

- ALP, S, 2004,Kum, Kil Ve Taşocakları Sektör Raporu.
- Çullu, M, 2016, *Beton Teknolojisi Çimentolar, ders Notları, Slaytlar*, Gümüşhane
- [http://www.academia.edu/7499103/Beton Bileşenleri Agregatör \(Erişim tarihi 25.05.2016\)](http://www.academia.edu/7499103/Beton_Bileşenleri_Agrega)
- <http://agub.org.tr/baskanin-mesaji> (Erişim tarihi 25.06.2016)
- <http://agub.org.tr/agrega-bulteni> (Erişim tarihi 28.06.2016)
- <http://www.incigrup.com/TR/Sektor-detay/262> (Erişim tarihi 29.06.2016)
- <http://www.migem.gov.tr/istatistikler/istatistik.html> (Erişim tarihi 15.05.2016)
- Kula, M, 2015, *Agregatör İşletmeciliğinde Türk Hukuk Sistemi içindeki Yeri, Maden Hukuku Sempozyumu*, Afyonkarahisar.
- Tek, A,1999, Açık Ocak Delme-Patlatma İşlemlerinde Maliyet Azaltılması 2. Ulusal

Bazaltın Polarize Enerji Dağılımlı X-ışınları Floresans Spektroskopisi ile Analizi

Analysis of Basalt Samples by Polarized Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectroscopy

İ. Üstündağ

Dumlupınar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kütahya

ÖZET

Tekirdağ-Çorlu yöresine ait bazalt numuneleri gerekli numune hazırlama ön işlemlerinden geçirildikten sonra çeşitli boyutlarda (200, 100 ve 40 µm altı) öğütülmüş ve polarize enerji dağılımlı X-ışınları floresans (PEDXRF) spektrometresi ile ayrı ayrı multi-element analizine tabi tutulmuştur. Farklı boyutlardaki numunelerin XRF analiz sonuçları, aynı numuneye ait indüktiflenmiş eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) analiz sonuçları ile karşılaştırılarak, numunenin optimum analiz şartları tespit edilmiştir. Her bir numunenin elementel bulgulara göre geri kazanım değerleri belirlenmiştir. Eser halde bulunan Cr ve Mn elementlerine PEDXRF ile standart ekleme yöntemi uygulanarak daha hassas analiz yapılabilirliği, geri kazanım değerleri, analizin gün içi ve günler arası doğruluk ve kesinlik değerleri hesaplanmıştır.

ABSTRACT

The samples of basalt were collected from Çorlu-Tekirdağ in Turkey. The grinded sample was sieved to pass through of mesh of 200, 100 and 40 µm, respectively. The samples were analyzed with a PEDXRF spectrometer. The results of analysis were compared with ICP data. The optimum conditions of analysis were investigated via analytical parameters. The recovery values of all elements were determined. The standard addition method was applied with XRF technique for trace elements such as Cr and Mn. The regression parameter of investigated methods was determined as recovery, inter-day/intra-day accuracy and precision.

1 GİRİŞ

Bazalt, gri/siyah renkte olup doğada en yaygın olarak bulunan volkanik kayaç gruplarından birisidir. Genelde ufak kristaller halinde ya da camsılaşmış halde bulunur. Akıcı ve bazik lavların soğuma yüzeyine dik olarak sütunumsu katılaşması ile oluşmaktadır. Bazalt, fiziksel ve mekanik dayanıklılığının yanı sıra kimyasal ve termal kararlılığından dolayı endüstri ve inşaat sektöründe oldukça fazla kullanılmaktadır. Özellikle kompozit malzeme üretiminde çok

tercih edilmektedir (Artemenko, 2003; Zhang et al. 2012; Bandaru et al. 2016).

XRF analiz tekniği numune hazırlama kolaylığı ve seri analiz imkânı bakımından oldukça önemli bir tekniktir. Özellikle jeolojik numunelerin analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda gıda, tarihi eser, çeşitli kimyasal ve biyolojik numunelerde de XRF etkin olarak kullanılmaktadır.

XRF tekniği, yüksek konsantrasyonlu bileşenlerin yanı sıra bazı eser elementlerin

analizleri için güvenilir, hızlı ve zararsız bir tekniktir (Margui et al. 2014). Bu teknikte, analiz şartlarının iyi belirlenmesi gerekir. Özellikle numune tanecik boyutunun optimize edilmesi gerekmektedir. Belirli konsantrasyonun altındaki eser elementlerin doğru analizi için standart ekleme yöntemini kullanmak daha uygundur. Bu şekilde numune matrisi kaynaklı analiz engellemeleri bertaraf edilmektedir.

Bu çalışmada, Tekirdağ-Çorlu yöresinden temin edilen çeşitli boyutlarda öğütülen bazalt numunesinin multi-element analizi yapılmıştır. ICP-OES tekniği ile analiz sonuçları karşılaştırılarak geri kazanım değerleri belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre düşük konsantrasyonlu Cr ve Mn elementleri seçilerek standart ekleme yöntemi ile bu elementlerin geri kazanım değerleri optimize edilmiştir. Bu iki element için, tekniğin gün içi ve günler arası analiz ile doğruluğu ve güvenilirliği hakkında bilgiler elde edilmiştir.

2 DENEYSSEL KISIM

Bazalt numuneleri birleştirilerek tek numune haline getirilmiş çeneli kırıcı ile kırıldıktan sonra halkalı öğütücüde öğütülmüştür. Agat havan içinde homojen hale getirilen numune, 200 mikron altı elek ile elendikten sonra bu numune B2 olarak kodlanmıştır. B2 numunesinin bir kısmı sırasıyla 100 mikron ve 40 mikron altı elekler ile ayrı ayrı öğütülmüş ve bu numunelere de sırası ile B1 ve B0 kodları verilmiştir. Her bir numunenin kızdırma kaybı belirlendikten sonra wax ile homojenize edilerek 32 mm çaplı peletler halinde PEDXRF (Spekro, X-Lab 200) ile analiz edilmiştir (Üstündağ vd. 2007a). B0 numunesindeki düşük konsantrasyonlu Cr ve Mn elementlerinin analizi için CrCl_3 (≥ 98 saflıkta, Sigma-Aldrich) MnCl_2 (≥ 99 saflıkta, Sigma-Aldrich) standartları kullanılmıştır (Üstündağ vd. 2007b). Cr konsantrasyonu 50-500 ppm, Mn konsantrasyonu ise 200-2000 ppm arasında seçilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ICP-OES sonuçları ile karşılaştırılmıştır

3 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Numunelerin XRF ile multi-element analiz sonuçları, ICP-OES sonuçları ile kıyaslandığında geri kazanım değerleri en yüksek olan numune, tanecik boyutu ≤ 40 μm olan B0 olarak bulunmuştur (Çizelge 1). Elementlerin her biri değerlendirildiğinde en düşük geri kazanım değerleri %91,8 ile Mn ve % 106,7 ile Cr olmuştur (Çizelge 2). Bu iki elementin standart ekleme yöntemi ile elde edilen analiz sonuçları değerlendirildiğinde bu değerler %98,7 ve %101,3 olarak optimize edilmiştir (Tefera et al. 2006).

Sonuç olarak bazalt numunesi XRF gibi kolay, hızlı ve güvenilir bir teknikte analiz edildiğinde numune boyutu önemli rol oynamıştır. Tanecik boyutu küçüldükçe analizin geri kazanım değeri artmıştır. Aynı zamanda Multi-element analiz sonuçlarında eser miktardaki bazı elementlerin geri kazanım değerleri düşük olmakla birlikte standart ekleme yöntemi kullanılarak analiz sonuçları optimize edilebilir. Standart ekleme yöntemi regresyon analizinde oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Tekniğin, bu iki element için gün içi ve günler arası doğruluk ve güvenilirlik sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Sonuçlar oldukça iyidir.

Bazalttan yola çıkılarak diğer benzer özellikli jeolojik numunelerin analizleri de benzer uygulamalarla optimize edilebilir.

Çizelge 1 Numunelerin XRF sonuçları ve geri kazanım değerleri

Element	PEDXRF, ppm			ICP-OES, ppm	Geri kazanım, %		
	B2	B1	B0		B2	B1	B0
Si	20,72	20,91	20,55	20,61	99,5	98,5	99,7
Al	3,1	2,97	3,32	3,35	92,5	88,7	99,1
Fe	3,77	3,26	3,57	3,6	95,3	90,6	99,2
Mg	6,12	5,84	6,33	6,28	97,4	93,0	100,8
Ca	6,36	5,92	6,86	6,91	92,0	85,7	99,3
Na	1,08	1,17	1,23	1,27	85,0	92,1	96,8
K	0,58	0,49	0,63	0,66	87,9	74,2	95,4
Ti	2,1	1,98	2,33	2,28	92,1	86,8	102,2
P	0,17	0,19	0,26	0,25	68,0	76,0	104,0
Mn*	0,10	0,08	0,12	0,13	76,9	62,5	91,8
Cr*	0,015	ND	0,030	0,028	33,4	-	106,7
LOI	3,75	3,84	3,91	-	-	-	-

*standart sapmalar %10'dan daha küçüktür. ND: tespit edilemeyen; *Ondalık basamak sayısı iki olarak verilmiştir.

Çizelge 2 B0 numunesinde Cr ve Mn için standart ekleme yöntemi ile elde edilen sonuçlar ve geri kazanım değerleri

Element	PEDXRF, ppm*	ICP-OES, ppm	Geri kazanım, %
Mn	0,132±0,002	0,130±0,002	98,7
Cr	0,0284±0,0011	0,0280±0,0023	101,3

*Ondalık basamak sayısı iki olarak verilmiştir.

and thermal properties of basalt fiber reinforced poly (butylene succinate) composites, *Materials Chemistry and Physics*, 133, 845–849

Çizelge 3 Yöntemin doğruluk ve kesinlik (RSD) değerleri (N=5)

		Bulunan değer, % kesinlik ve % doğruluk		Eklenen Cr ve Mn, ppm		
				0	50	200
Gün içi	Bulunan değer	Cr	284±11	337±12	495±11	
		Mn	1317±23	1375±17	1530±26	
	RSD %	Cr	-	3,56	2,22	
		Mn	-	1,24	1,70	
	Doğruluk %	Cr	-	-1,1	-3,87	
		Mn	-	-0,6	-1,00	
Günler arası (7 gün)	Bulunan değer	Cr	287±8	330±10	475±12	
		Mn	1328±27	1382±21	1514±27	
	RSD %	Cr	-	3,03	2,53	
		Mn	-	1,52	1,78	
	Doğruluk %	Cr	-	2,1	2,46	
		Mn	-	-0,3	-0,3	

KAYNAKLAR

- Artemenko, S.E., 2003. Polymer Composite Materials Made from Carbon, Basalt, and Glass Fibers. *Structure and Properties, Fiber Chemistry* 35, 226-229
- Bandaru, A.K., Patel, S., Sachan, Y., Ahmad, S., Alagirusamy, R., Bhatnagar, N., 2016, Mechanical characterization of 3D angle-interlock Kevlar/basalt reinforced polypropylene composites, *Polymer Testing*, 55, 238-246
- Margui, E., Zawisza, B., Sitko, R., 2014, Trace and ultratrace analysis of liquid samples by X-ray fluorescence spectrometry, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 53, 73-83
- Tefera, M., Geto, A., Tessema, M., Admassie, S., 2016, Simultaneous determination of caffeine and paracetamol by square wave voltammetry at poly(4-amino-3-hydroxynaphthalene sulfonic acid)-modified glassy carbon electrode, *Food Chemistry*, 210, 156–162
- Üstündağ İ., Üstündağ, Z., Kalfa, O.M., Kadioğlu, Y.K. 2007, Geochemical compositions of trona samples by PEDXRF and their identification under confocal Raman spectroscopy: Beypazari-Ankara, Turkey, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 254, 153-159
- Üstündağ, Z., Üstündağ, İ., Kadioğlu, Y.K. 2007, Multi-element analysis of pyrite ores using polarized energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry, *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 809-813
- Zhang, Y., Yu, C., Chu, P.K., Fengzhu, L., Zhang, C., Ji, J., Zhang, R., Wang, H., 2012, *Mechanical*

Yazar İndeksi
(Author Index)

Acer, H.,	275	Fenerli, C.,	263	Özer, Ü.,	118,162
Adıgüzel, D.,	243	Filazi, A.,	306	Özgür, A.,	113
Ağaçayak, T.,	209	Geçer, G.,	214	Özyurt, M.C.,	118,162
Akbulut, A.,	514	Genç, M.,	263	Sakcalı, A.,	171
Akçakoca, H.,	91,129,152	Göz, E.,	19	Savaş, M.,	313
Alemdağ, S.,	498	Gülbandılar, E.,	67,251,295	Selçuk, B.,	271
Akan, İ.E.,	414	Günay, Ö.,	520	Sevim, Ö.,	275
Anjum, S.,	492	Gündüz, L.,	284,390	Soypak, R.,	382
Aras, A.,	209	Güngör, N.,	514	Sülünbaş, S.,	129
Arslan, Ü.,	420	Güzelküçük, S.,	306	Şafak, R.E.,	476
Arıtan, A.E.,	439,453	Hafizoğulları, H.,	275	Şahbaz, A.,	38,369
Aydın, A.,	506	Hamid, G.,	492	Şahbaz, O.,	224,485
Aydoğdu, N.,	390	Hocaoğlu, İ.,	271	Şensöğüt, C.,	59,439,445,453,476
Bakırcı, Ş.,	275	Husain, V.,	492	Tekin, E.,	275
Başçetin, A.,	243	Kahraman, E.,	103,324	Topçu, İ.B.,	271,354
Beyhan, S.,	414	Kalaycı, Ü.,	118,162	Toprak, M.U.,	330
Bilal, M.,	492	Kalkan, Ş.O.,	284,390	Tosun, A.,	180
Cameren, Ö.,	224	Kansun, G.,	84	Tosun, Y.İ.,	29
Cihangir, F.,	236	Kantar, M.,	275	Tümer, M.,	439,453
Cevizci, H.,	171	Karaca, S.,	67,224	Türkmenoğlu, M.,	406
Ceylan, Ç.,	263	Karadoğan, A.,	118,162	Türkmenoğlu, F.,	406
Coşkun, N.D.,	330	Karagüzel, C.,	224,485	Tüylü, S.,	243
Çelik, M.Y.,	38	Kasap, Y.,	430,476	Uçar, A.,	19,67,420
Çelik, S.B.,	9	Kayabaşı, A.,	382	Uygunoğlu, T.,	271,354
Çetin, S.,	354	Kazan, E.,	129	Uysal, Ö.,	113
Çinar, İ.,	59,445	Kılıç, A.M.,	103,324	Uz, V.,	330
Çobanoğlu, İ.,	9	Kılıç, Ö.,	51,360	Üstündağ, İ.,	538
Demir, A.,	342	Kırış, Ş.,	430	Varol, O.O.,	406
Demir, B.G.,	514	Kızılkaya, N.,	263	Yaprak, H.,	306
Demir, İ.,	275,306	Kibici, Y.,	330,420	Yassen, R.,	492
Demir, U.,	224	Kocaman, B.,	527	Yavuz, H.,	171
Deniz, V.,	186,195	Kocaman, R.,	527	Yeşilkaya, L.,	214
Doğruöz, C.,	420	Koçak, Y.,	251,295,313	Yılmaz, A.O.,	400
Düzyol, S.,	59	Köken, E.,	73	Yılmaz, T.,	2,236
Ercins, S.,	91,129,152	Kurtcu, H.,	527	Yurdakul, S.,	360
Erçikdi, B.,	236	Külekçi, G.,	400,498	Yuvka, Ş.,	113
E.Sarıcı, D.,	46	Oğul, K.,	420	Zedef, V.,	84
Ersoy, M.,	38,214,369,460	Önal, M.,	263		
Ersoy, S.,	330	Ören, Ö.,	439		
Ersöz, E.S.,	485	Özarıslan, A.,	73		
Ertuğrul, G.,	19	Özdemir, E.,	46		
Esen, S.,	140	Özdemir, M.,	113,414		

