

Chapter - I

**INDUSTRIAL RAW MATERIALS AND
NATURAL STONES**

ENDÜSTRİYEL HAMMADDE & DOĞAL TAŞLAR

Evaluation of Surface Treatment of Ornamental Stones with Water Jet in Terms of Economy

G. Costa, R. Ciccu

University of Cagliari, Department of Geoengineering and Environmental Technologies, Cagliari, Italy

Y. Özçelik

Hacettepe University, Department of Mining Engineering, Ankara, Turkey

N. Kavaklı

Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources, Ankara, Turkey

ABSTRACT The aim of this study is to evaluate the surface treatment of ornamental stones with water-jet in terms of economy using single and multiple jet system. For this purpose, The samples namely Pearl Grey (“granite type” rock) were treated with water jet machine located in laboratory of Cagliari University Department of Geoengineering and Environmental Technologies using single inclined jet with scanning in parallel passes without abrasive addition. The surface treatment operations were evaluated using the data obtained from Italy in terms of economy assuming a fixed selling price of the treatment is 15 €/m². The obtained results are compared with the data obtained from the assumption of usage of multiple jet system without making tests in laboratory. All the economical results refer to real data which is valid for Italy conditions.

As a result of this study it is found out that a single jet treatment, in the conditions that the operations were performed, is not suitable in terms of economy, however, if a system with multiple jets is applied, good economical result could be achieved.

1 INTRODUCTION

In the last years the use of ornamental stones with rough surfaces for cladding/facing, paving/flooring and, more and more frequently, in urban fittings and in design (Careddu et al. 2005), found an increasing favour with the stone architecture philosophies and nowadays it is considered an effective solution for both technical and aesthetical requirements (Ozcelik et al., 2013).

There are a number of methods of stone surface processing and finishing such as chiseling, bush hammering, sand blasting, scratching, flaming, grinding and water jet treatment. The choice of the method depends on the type and the conditions of the material, the aesthetic features, economics, tradition and also market trends (Careddu,

2010; Ciccu and Bortolussi 2010; Ozcelik et al. 2011; Ozcelik et al., 2013).

Surface treatment methods based on mechanical tools, sand blasting and flaming lead to undesirable effects such as chromatic modifications, production of micro-cracks and mechanical alterations. Among available surface treatments is the recently added pure-water-jet technology, which can create rustic effects without the problems tied to thermal shock, mechanical stress or the production of fumes and dust. Treated stone surfaces using water jet are of higher level of aesthetical appearance than the other methods (Costa, 2007; Careddu et. al., 2007; Careddu et. al., 2008; Careddu, 2010; Ciccu and Bortolussi, 2010; Ozcelik et al., 2011).

Researchers (Bortolussi et al., 2002; Careddu, 2006 and 2010; Careddu et al., 2007 and 2008; Costa, 2007; Ciccu and Bortolussi, 2010; Gursel, 2009; Ozcelik et al., 2011) have experimentally treated surfaces using water jet and the surfaces were evaluated aesthetically and compared to other methods as flaming, bush hammering, and sand blasting. In particular, Bortolussi et al. (2002) worked on surface finishing of marble with abrasive water jet. Careddu (2006) showed the technical, economic and aesthetic results obtained using water jet treatment and compared it with competing technologies. Careddu et al. (2007 and 2008) investigated how the water jet is suitable for treating surfaces of many non-flammable rocks, with considerable aesthetic and economic advantages. Costa (2007) worked on surface finishing with water jet and analyzed the results aesthetically. Gürsel (2009) investigated relationships between operating and performance parameters such as specific energy, excavation rate, roughness and luminance on different types of marble for surface treatment using water jet. Ozcelik et. al. (2011) compared various results of surface treatment using water jets with the outcome of other surface treatments such as disc sawing, polishing, soft and hard bush hammering and flaming. They stated that water jet could easily be used for surface treatment of building stones since it can provide an aesthetically pleasing rough surface without disrupting the natural structure and textural features of the rocks.

It can be seen from the published literature that there are a limited number of studies related to water jet performance evaluation in surface treatment. On the other hand, no investigation has been carried out about evaluation of the surface treatment of ornamental stones with water-jet in terms of economy. Because of this, the aim of this study is to evaluate the surface treatment of ornamental stones with water-jet in terms of economy using single and multiple jet system.

2 EXPERIMENTAL PROCEDURE

2.1 Equipment

The equipment used in the experimental program was numerically controlled on two horizontal axes, in which the nozzle-bearing head was deliberately inclined forwards for the experiment (Figure 1).



Figure 1. Water jet machine used in this study

The system consists of the following components:

- 37 kW pressure pump with three parallel intensifiers, supplying a maximum pressure of 390 MPa with a 7 l/min capacity,
- Nozzle-bearing head equipped with a manually slope-regulating device, carrying a convergent-section sapphire orifice 0.3 mm in diameter,
- Two numerically controlled horizontal axes (X and Y) and a manual controlled vertical axis (Z), working on a bench (with a working surface of 2 x 1.6 m²). The maximum cutting-head speed is 24.5 m/min. Beneath the bench, there is a water tank to collect the cuttings (Ozcelik et al., 2011).

2.2 Material and Method

The samples namely Pearl Grey (“granite type” rock) having 7x7x2 cm size were used in this study. Representative physical and mechanical properties and mineralogical and petrographical descriptions of the sample are given in Table 1 and Table 2, respectively. The mechanical properties of the rocks were

determined by a variety of laboratory tests in accordance with the procedures suggested by the ISRM (1981).

Surface treatment operations have been performed with water jet machine located in laboratory of Cagliari University Department of Geoengineering and Environmental Technologies using single inclined jet with scanning in parallel passes without abrasive addition.

Working parameters have been selected in this study as follows;

- Nozzle diameter (mm): 0.3
- Distance between water jet scanning lines (mm): 1, 1.5, 2, 2.5, 5
- Angle of inclination of the jet (degree): 30
- Standoff distance (mm): 50, 100
- Traverse velocity (mm/min): 5000, 10000, 15000, 17500, 25000
- Pump pressure (MPa): 150, 175, 200, 220, 250, 300

The best results of the surface treatment operations in terms of aesthetical appearance was obtained with 2 mm scanning line, 100 mm standoff distance 25000 mm/min traverse velocity and 300 MPa Pump Pressure (Figure 2). The surface treatment operations were evaluated using the data obtained from Italy in terms of economy assuming a fixed selling price of the treatment is 15 €/m². The obtained results from the best conditions given above are compared with the data obtained from the assumption of usage of multiple jet system having three nozzle heads without making tests in the laboratory.

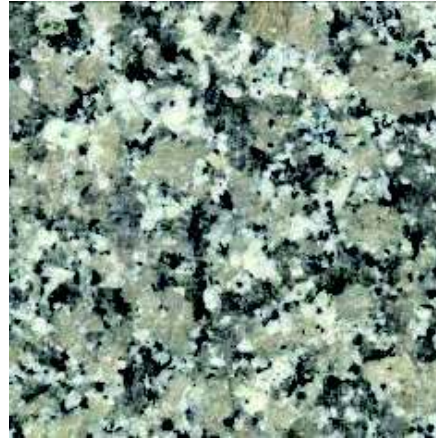


Figure 2. Treated surface with single water jet system

All the economical results refer to real data which is valid for Italy conditions. All the results obtained in this study for single and multiple jet systems are given in Table 3. In Table 3, parameters marked with (*) represent the result of the calculation made by a specific spreadsheet, while unmarked parameters represent calculation assumptions.

As can be indisputable seen from Table 3 that increasing the number of nozzles will proportionally increase the hourly productivity, while the investment and operating costs will increase more slowly. It is apparent that this system will enable the achievement of high productivity values with excellent cost-effectiveness.

Distribution of percent of weights of parts of operating cost is given in Figure 3 for two systems.

Table 1. Some of the physical and mechanical properties of samples

Density (gr/cm ³)	Water Absorption (W/W) (%)	Appear Porosity (%)	Shore Hardness	Uniaxial Compressive Strength (MPa)
2,586	0,40	1,03	77	169

Table 2. Mineralogical and petrographical description of the samples

Sample Name	Lithotype	Mineralogical and petrographical description
Pearl Grey	Granite	Holocrystallined hypidyomorph granulized texture. Quartz,alcali feldspar (ortoclase and a few amount of microcline), biotite and plagioclase are present.

Table 3. Economical analysis results of single and multiple water jet system

Parameters	Single jet	Multiple jet
Number of nozzle	1	3
Cutting spacing / distance between lines [mm]	2	2
Velocity of the nozzle [mm/min]	25000	25000
*Productivity [m ² /h]	3	9
Jet pressure [MPa]	300	300
Volumic mass of water [kg/m ³]	1000	1000
Volumetric elasticity modulus of water at 20 ° C [MPa]	2180	2180
*Volumetric mass of water after compression [kg/m ³]	1125,10	1125,10
*Jet velocity [m/s]	730	730
Nozzle diameter [mm]	0,30	0,30
Contraction coefficient of the nozzle	0,8	0,8
*Flow rate of the water jet [l / min]	2,48	7,43
*Hydraulic power [kW]	12,39	37,17
Pump efficiency coefficient	0,70	0,70
*Electricity required by the pump [kWh]	17,70	53,09
Electricity required by handling and auxiliary equipment [kWh]	15	15
*Total electricity required [kWh]	32,70	68,09
*Specific cutting energy - hydraulic [MJ/m ²]	14,87	14,87
*Specific cutting energy - electric [MJ/m ²]	39,24	27,24
Unit cost of electricity [€ / kWh]	0,133	0,133
*Cost of electricity (Ce) [€ / h]	4,35	9,06
Cooling water required [l / min]	12	12
*Total water required [l / min]	14,48	19,43
Unit cost of water [€/m ³]	1,38	1,38
*Cost of water [€/h]	1,20	1,61
Nozzle working life [h]	80	80
Nozzle price [€]	15,49	15,49
*Nozzle replacement cost [€ / h]	0,19	0,58
*Cost for servicing and spare parts [€ / h]	2,41	2,79
Manpower needed [man hours]	0,5	0,5
Manpower unit cost [€ / h]	24,19	24,19
*Total manpower cost [€ / h]	12,10	12,10
*Operating/working total cost (CF) [€ / h]	20,05	26,13
Cost for the purchase of the system (Pa) [€]	200000	250000
Estimated life time of the system (n) [years]	10	10
Estimated residual value after n years of service [€]	0	0
Working days per year [days / year]	240	240
Daily working hours/time [h / day]	14	14
*Hours of work per year [h / year]	3360	3360
*Daily production [m ² / day]	42	126
*Annual production [m ² / year]	10080	30240
Weighted Average Cost of Capital [%]	4	4
*Pay off/Overall amortization of capital [€ / year]	24658	30823
*Operating annual cost [€ / year]	67364	87805
*Total annual cost [€ / year]	92022	118627
*Specific total cost [€/ m ²]	9,13	3,92
Sale price for the treatment [€ / m ²]	15,00	15,00
*Total estimated annual revenue [€/year]	151200	453600
*Specific profit of the application [€ / m ²]	5,87	11,08
*Average annual profit [€/year]	59178	334973

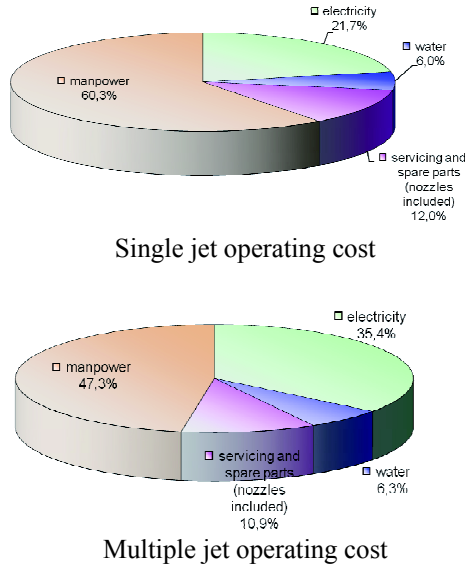


Figure 3. Distribution of percent of weights of parts of operating cost

As can be seen from Figure 3 that increasing the number of nozzle, decreasing the distribution of percent of weights of manpower, servicing and spare parts of operating cost while increasing the distribution of percent of weights of electricity and water of operating cost.

In order to test two applications in terms of economy, the total costs per unit production and operating costs per unit production were compared.

As can be seen from Table 3, annual specific cost of usage of single nozzle per unit production is 9,129 €/m² while annual specific cost of usage of multiple nozzle is 3,922 €/m². According to the comparison between two applications, annual cost of usage of single nozzle 2,32 times expensive than annual cost of usage of multiple nozzle.

Based on the annual operation costs per unit production, values (Operating annual cost (€/year) / Annual production (m²/year)) are found for the single nozzle as 6,68 €/m², and for the multiple nozzle as 2,90 €/m². Here, operating annual cost can be calculated as follows;

Operating annual cost (€/year) =
 Operating/working total cost (€/h) * Hours of work per year (h/year)

Hours of work per year (h/year) = Working days per year (days/year) * Daily working hours/time (h/day)

As these values are taken into account, the ratio between two applications was found 2,30. This result also approves the usage of multiple jet system is more economical than single one.

If the annual revenues per unit production (Specific profit of the application (€/m²)) is taken into account, specific profit of usage of single nozzle is found as 5,87 €/m², specific profit of usage of multiple nozzle is found as 11,077 €/m². Depending on this results, it can also be said that application of multiple nozzle is 1,88 times lucrative than the single nozzle application. Here, Specific profit of the application [€/m²] can be calculated as follows;

Specific profit of the application (€/m²) =
 Sale price for the treatment (€/m²) - Specific total cost (€/m²).

Specific total cost (€/m²) = Total annual cost (€/year)/Annual production (m²/year).

3 CONCLUSION

The use of high velocity water jets has become much more common for performing a variety of tasks in recent years. As their advantages are clearly demonstrated, a variety of water jetting equipment has been developed. Consequently, in several industries water jets have become the most accepted method for solving cutting and surface treatment problems. The purpose of this study is to evaluate the surface treatment of ornamental stones with water-jet in terms of economy using single and multiple jet system. As a result of this study, it is pointed out that increasing the number of nozzles will proportionally increase the hourly productivity, while the investment and operating costs will increase more slowly. It is also apparent that this system will enable the achievement of high productivity values with excellent cost-effectiveness, and usage of three nozzle is more economical and

lucrative than the usage of single nozzle for surface treatment operation.

As a conclusion, the obtained results could also be compared with traditional methods like bush hammering, sand blasting or flaming having various disadvantages that may reduce the market interest for particular applications in terms of economy.

REFERENCES

- Bortolussi, A., Careddu N., Ciccu R., Manca M.G. and Olla A., 2002. Surface finishing of marble with abrasive water jet. 16th Int. Conference on Water Jetting. Aix en Provenc, 425-435.
- Careddu, N., Ciccu R. and Costa G., 2005. Applicazione della tecnologia water-jet alla lavorazione superficiale dei graniti. *Marmomacchine Classic*. 184, 218-238.
- Materials, 25(2), 678-687
- Careddu, N. 2006. Developments in the surface finishing of ornamental rocks by high-pressure water jet without abrasive and proposal for an official name for the process. *Technical Review, Diamond-Applications and Technology*, 47, 65-77.
- Careddu, N., Costa G., Ciccu R., Medda R., Naitza S. and Primavori P., 2007. Working the surfaces of non-flammable ornamental rocks with water-jets technology (Part one). *Technical Review, Marble Machine Classic*, 196,164-187.
- Careddu, N., Costa, G., Ciccu, R., Medda, R., Naitza, S., and Primavori, P., 2008. Working the surfaces of non-flammable ornamental rocks with water-jets technology (Part Two). *Technical Review, Marble Machine Classic*, 197, 102-124.
- Careddu, N., 2010. Surface treatment of ornamental stones by high-pressure, water-jet technology. *Mining Engineering*. 62, 44-50.
- Ciccu, R., and Bortolussi. A., 2010. Stone surface finishing by pulsed water jets. *Global Stone Congress 2010*. Alicante, Spain. S2-11
- Costa, G., 2007. Surface finishing operations on marbles with water jet. Ph.D. Thesis, University of Cagliari, Italy (in Italian)
- ISRM 1981. Rock characterization testing and monitoring, Suggested Methods. Oxford.
- Gürsel, M., 2009. Performance assessment of water jet cutting and surface treatment. MSc Thesis, Hacettepe University
- Ozcelik, Y., Ciccu R. and Costa G., 2011. Comparison of the water jet and some traditional stone surface treatment methods in different lithotypes. *Construction and Building Materials*, 678-687.
- Ozcelik, Y., Ciccu R. and Bortolussi A., 2013, Effect of Working Parameters on Excavation Rate and Specific Energy on Surface Treatment With Pure Water Jet. *Journal of Testing and Evaluation*, DOI: 10.1520/JTE104617.

Ankara-Kalecik Kilinin Genleşmiş Kil Agregası Üretiminde Kullanımı

Use of Ankara-Kalecik Clay in the Production of Expanded Clay Aggregates

A.Özgülven

MTA Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, Ankara

İ. Çandır

MTA Maden Etüt ve Arama Dairesi, Ankara

L. Gündüz

Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği, Isparta

ÖZET Genleşmiş kil agregaları Avrupa ve ABD’de, özellikle yapı sektöründe, hafif yapı elemanlarının üretilmesinde kullanılan vazgeçilmez bir ana hammadDEDİR. Ülkemiz, geniş kil rezervleri açısından kayda değer bir potansiyele sahip olmasına rağmen endüstriyel anlamda bir yatırım görülmemektedir. Bu çalışmada, geniş kil olarak değerlendirilebilecek en önemli sahalardan biri olan Ankara-Kalecik kil sahasının detaylı arazi ve laboratuvar çalışmaları ile endüstriye kazandırılması amaçlanmıştır. Çalışma sahasının temel jeolojik özellikleri tespit edildikten sonra farklı üretim parametreleri seçilerek genleşmiş kil agregası üretimi yapılmış ve en uygun üretim koşulları belirlenmiştir. Katkısız genleştirme deneyleri sonucunda agrega birim hacim ağırlığı 360 kg/m^3 , genleşme oranı 5,5 olan çok kaliteli genleşmiş kil agregası üretiminin mümkün olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Genleşen kil, genleşmiş kil agregası, hafif agrega, Kalecik

ABSTRACT Expanded clay aggregates, used in the production of lightweight elements, are indispensable raw materials particularly in building sector in Europe and USA. Although Turkey has notable potential of expanding clay reserves, there is no visible industrial investment in expanding clay sector. In this study, it is aimed to introduce the Ankara-Kalecik clay field, a potentially important expanding clay field, to the industry by detailed field and laboratory studies. Following the geological identification of the study area, expanded clay aggregates are produced and the optimum production conditions are determined by selecting different production parameters. As a result of pure expansion experiments without additives, it is revealed that very qualified expanding clay aggregate, with the 360 kg/m^3 unit weight and 5,5 expansion ratio, is possible to produce.

Keywords: Expanded clay, expanded clay aggregate, lightweight aggregate, Kalecik

1 GİRİŞ

Genleşen kiler, erken sinterleşen kilerdir. Kontrollü ısıtma hızı ve $1100-1250^\circ\text{C}$ arasındaki ısılarda hacimce büyüme göstermektedir. Bu kiler belirtilen sıcaklıklarda ısıtıldığında piroplastik formda,

cam kabuk kaplamalı ve aynı zamanda bünyedeki gazların viskoz yapıyı genleştirmesine uygun yapıdadırlar. Bu oluşumun gerçekleşebilmesi için birleşik akıcı bir yapı olmalıdır. Örneğin, demir oksitler, alkaliler, toprak alkaliler, gaz

oluşturan maddeler, hammaddenin içinde bulunmalı veya üretim esnasında eklenebilmelidir (EIPPCB, 2005). Genleşen killer jeolojik olarak denizel ve karasal ortamlarda oluşabilmektedir (Aras, 2008). Nispeten tabakalı silikat içeriği, ince tane oranı ve plastikliği yüksek olan, içerisinde gaz oluşumunu sağlayacak organik madde ihtiva eden, sinterleşme ve erime noktası birbirine yakın olan killer genleşen kil olarak değerlendirilebilmektedir.

Genleşmiş kil agregaları sert sinter kabuklu, içi gözenekli, cürufumsu görünümde, oldukça hafif ve oldukça dayanıklı, kimyasallar ile tepkimeye girmeyen, çok düşük su emme oranına sahip agregalardır (Özgüven, 2009). Bu agregalardan üretilen bloklar hafif, uygun yük taşıma kapasitesine sahip, dona dayanıklı, ısı ve ses izolasyonu sağlayan, yanmaz malzemelerdir (Kvande, 2001).

Genleşmiş killer, teknolojik özellikleri ve birçok endüstriyel hammadde türüne göre değişik avantajlara sahip olması nedeniyle farklı endüstri dallarında, yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Genleşmiş kil agregalarının çeşitli kullanım alanları şunlardır (ESCSI, 2008):

- Yüksek performanslı kâgir betonlarda: Beton tuğla, yer üstü ve altında kâgir beton elemanları, gizli muhafaza ve ses bariyer duvarları, sesi emen duvarlar, ön üretimli lento, gevşek dolgu göbek yalıtımı, parke taşı, taş döşeli avlu parçaları
- Yüksek performanslı yapısal beton: Kirişler, eğimli duvarlar, hatıllar, borular, köprü tabliyesi, kıyı ötesi platformlar
- Asfalt altı taş döşeme
- Jeoteknik uygulamalar: Dolgu, bölme ve istinat duvarları, filtreleme
- Bahçecilik uygulamaları: Yeşil çatı toprak şartlandırıcı, zemin koruyucu, topraksız tarım
- Özel beton: Çatı kiremitleri, beton duvar kaplaması, suni taş, torbalanmış

beton karışımı, ahşap döşeme sistemlerinde tesviye betonu, çatı dolgusu, püskürtme beton

- Diğer: Buzlu yollar için kaymayı önleyici/çekişi artırıcı malzeme, kil tuğla için grog malzeme, çatma çatı için kapak taşı ve kırma taş, geçirimsiz plastik borular için yangından koruyucu, mutfak, banyo ve WC'den gelen atıkların temizleme filtresi olarak genleşmiş killer kullanılmaktadır.

Özellikle yapı sektöründe hafif yapı elemanlarının üretilmesinde kullanılan vazgeçilmez ana hammadde genleşmiş kil agregalarıdır. Ülkemizde, genleşen killer üzerine yeterli düzeyde Ar-Ge çalışmalarına rastlanılmadığı gibi endüstriyel bağlamda kayda değer bir yatırım da görülmemektedir. Oysaki ülkemiz, genleşen kil rezervleri açısından oldukça önemli sayılabilecek bir potansiyele sahiptir. Dolayısıyla, bu potansiyel varlığında ülkemizdeki killerin genleşme özellikleri detaylı olarak analiz edilmeli ve endüstriyel olarak kullanılabilirlik ölçütleri tanımlanmalıdır (Gündüz vd, 2006).

Bu çalışmada, Ankara-Kalecik kil sahası tanımlanmış ve Ankara-Kalecik kilinden genleşmiş kil agregası üretilebilirliği araştırılmıştır.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

Ankara – Kalecik kil sahasını genleşmiş kil agregası üretiminde değerlendirebilmek için arazi çalışması, sahayı temsil edecek şekilde numune alımı ve mineralojik kimyasal analizlerle birlikte genleştirme deneyleri yapılmıştır.

2.1 Arazi Çalışmaları

Ankara-Kalecik'te bulunan kil sahasının jeolojik özelliklerini tespit etmek amacıyla arazi çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmada sahanın litolojik özellikleri, örtü

kütle, yayılım, konum, iklim, rezerv, vb. belirlenmiştir:

Genleştirme deneyleri ve diğer analizler için yeterli miktarda numune, araziyi temsil edecek şekilde alınmıştır. Şekil 1’de çalışma sahasının yer bulduru haritası sahanın genel görünümü verilmektedir.

2.2 Mineralojik Analiz

İncelenen kilin mineral içeriğinin belirlenmesi amacıyla XRD analizleri yapılmıştır. XRD analizleri MTA Genel Müdürlüğü Mineraloji ve Petrografi Araştırmaları Birimi laboratuvarında yapılmıştır. XRD analizleri için Cu X-ışın tüplü Philips PW 3710/1830 model cihaz kullanılmıştır.

2.3 Kimyasal Analizler

Çalışılan sahalardan alınan hammaddelerin kimyasal bileşimini belirleyebilmek için çeşitli analizler yapılmıştır. Numunelerin kimyasal analizi XRF Spektrometrik yöntem ile yapılmıştır. Analiz sonuçları Philips Axios model cihazda IQ + programında

değerlendirilerek yapılmıştır. Kilin içerdiği uçucu madde oranları, oluşacak gazın miktarını dolayısıyla da genişleme oranını etkilemektedir. Genleşme sırasında oluşan gazlardan en önemlileri karbon içeren gazlar (CO, CO₂) olduğundan örneklerin karbon içerikleri de belirlemek istenmiştir. Bunun için de uçucu madde oranları ve elementer karbon deneyleri yapılmıştır. Kimyasal analizler MTA Genel Müdürlüğü Analitik Kimya Birimi ve Kömür Analizleri Birimi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2.4 Laboratuvar Çalışmaları

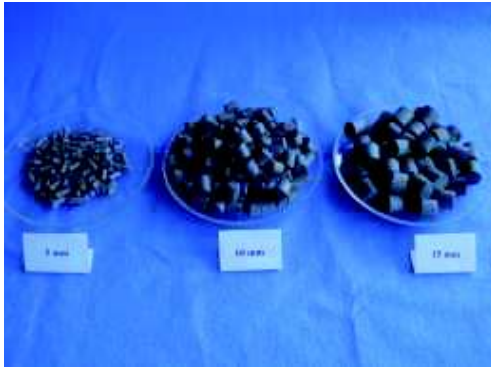
2.4.1 Numune Hazırlama ve Şekillendirme

Araziden alınan numunelerin genişmiş kil agregası üretimi için hangi kil boyutunun en uygun olduğunu belirleyebilmek için 3 farklı boyutta (-100, -200 ve -300 µm) kil hazırlanmıştır. Numuneler önce çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra diskli öğütücüde öğütülmüş ve elenmiştir. Elek üstleri istenen tane boyutuna indirmek için halkalı değirmende tekrar öğütülmüştür. İstenen boyuta getirilen



Şekil 1. Çalışma sahasının yer bulduru haritası ve sahanın genel görünümü

kile herhangi bir katkı ilave edilmeden, sadece su ile karıştırılarak hamur hazırlanmış ve hamur naylon torba içinde kapalı şekilde bir gün dinlendirilmiştir. Hazırlanan hamur ekstruderde silindir kalıplar ile 3 farklı pelet çapında (5, 10 ve 15 mm) şekillendirilmiştir. Şekillendirilmiş ham peletler Şekil 2’de görülmektedir. Ham peletler şekillendirildikten sonra etüvde 100 ± 5 °C’de kurutulmuştur.



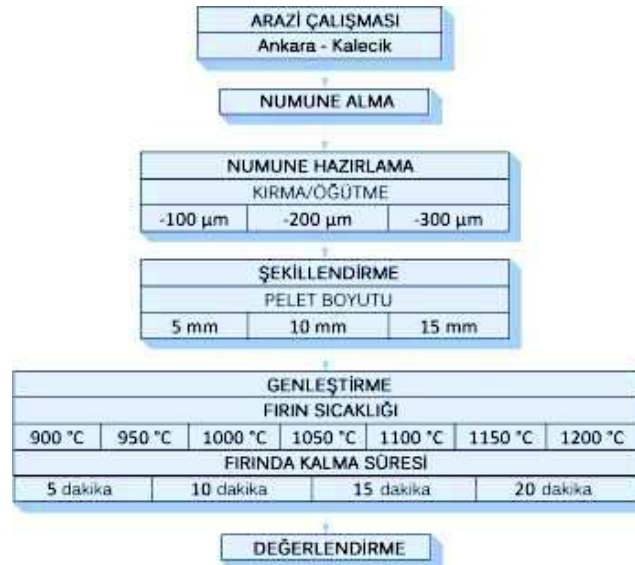
Şekil 2. Genleştirme için hazırlanan farklı pelet boyutları

2.4.2 Genleştirme Deneyleri

Genleşmiş kil agregasının hangi sıcaklıkta en uygun oranda genleştiğini belirleyebilmek için Ruhstrat marka fırında pişirmeler yapılmıştır. 900°C’den başlayarak 1200°C’ye kadar 50°C aralıklarla farklı sıcaklıklarda pişirmeler yapılmıştır. En uygun fırında kalma süresini belirleyebilmek için peletler belirlenen sıcaklıkta 4 farklı sürede (5, 10, 15 ve 20 dakika) fırında bekletilerek genleştirmeler yapılmıştır. Pişirilen peletler dışarıya alınarak ani olarak soğumaları sağlanmıştır.

2.4.3 Fiziksel Testler

Üretilen agregaların hangi üretim koşullarında iyi sonuçlar verdiğini bulabilmek için birim hacim ağırlıkları ölçülmüştür. Agregaların birim hacimleri oldukça düşük olduğu için ASTM C493-98 (1998) standardına uygun olarak civalı yöntem ile birim hacim ağırlıkları bulunmuştur. Genleşmiş kil agregasının bulunan birim hacim ağırlığı, ham peletin birim hacim ağırlığı ile karşılaştırılarak genleşme oranı hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında izlenen yöntem Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Çalışmanın aşamaları

3 BULGULAR

3.1 Arazi Çalışması

Ankara ili Kalecik ilçesinde Çamköy'ün güneyinde, Ankara-Çankırı yolu kenarında, Çankırı H30-d2,d3 paftaları arasında bulunan saha en bilinen genleşen kil sahasıdır. Çalışma kapsamında yapılan arazi çalışmalarından elde edilen bulgular şöyledir.

3.1.1 Ulaşım

Çalışma sahasına ulaşım asfalt yol şeklinde Ankara-Çankırı Devlet Karayolundan yapılmaktadır. Arazide ise stabilize yollar ile saha geçilebilmektedir.

3.1.2 Coğrafya

Çalışma sahası genelde yarı engebeli ve rölyefi yüksekçe bir topografyaya sahiptir. Başlıca yükseltiler Öztarla tepe (1440 m), Çam tepe (1352 m), Kartalkaya tepe, Alameşe tepe ve Çalıçukur tepe'dir. Yükselti 1150 ila 1440 m civarındadır. Sahada birçok kurudere mevcuttur. Başlıca İngese Deresi, Siyah Dere, Bağlar Dere, Hacıgözü Dere ve Çatalbaşınar Dere'dir.

3.1.3 İklim ve Bitki Örtüsü

Bölgede karasal bir iklim vardır. Arazi geneli bozkırlıktır. Bitki örtüsü zayıftır. Tarımsal arazi çalışma sahasında nispeten sınırlıdır.

3.1.4 Litoloji

Grimsi, metalik parlak renkli, ıslak rengi koyu gri-siyah, yer yer ikincil kalsit gelişmiş olan, kireçtaşı merceklerinin altında şisti görümlü kumtaşı-şeyl ardalanması görülmüştür. Bu birimin üzerine grimsi-boz renkli kumtaşı-şeyl fasiyesi gelmiştir.

3.1.5 Jeolojik Süreç

Alt Triyas sırasında bölgede konglomera, kumtaşı, silttaşı, kumlu kireçtaşı litolojileri

belirginleşen kısmen derinleşen sığ bir deniz vardır (Kösrelik Formasyonu). Bu ortamda bulantı akıntıları zaman zaman etkin olmuştur. Bu akıntılarla çökeltme ortamının sığ bölümlerinden derin kesimlere malzeme taşınmıştır. Bu dönemde bölgeyi etkileyen gerilme kuvvetleri etkisiyle gelişen tektonik hatlardan yüzeye ulaşan bazik volkanizma ürünleri (spilit, diyabaz ve tüfleri) detritiklerle girik olarak gelişmiştir (Yağızali Formasyonu). Orta Triyas esnasında deniz transgresif olarak bölgeyi işgal etmiştir. Alt Triyas yaşlı birimlerin parçalarından oluşan, konglomera ile başlayıp kumtaşı ve kumlu kireçtaşı litolojileri olarak çökelmiştir (Elmalı Formasyonu). Orta-Üst Triyas'ta giderek derinleşen deniz, sığ deniz çökelleri olarak devam eden istifini vermiştir (Yeniçöte Formasyonu) (Özgüven vd, 2009).

3.1.6 Stratigrafi

Çalışılan alanda Alt Triyas'tan Güncel-Kuvaterner yaşına kadar metamorfik, magmatik ve sedimanter kayalar yüzeylenmektedir. En yaşlı birim Alt Triyas yaşlı Kösrelik formasyonudur. Sahanın genelinde mostra veren birim içerisinde hedef malzeme olan genleşen siyahımsı şist ve metamorfik ayırtlanamamış kayalar da bu birimde özellikle de Çamköy ve Karayatak köyü civarında mevcuttur. Bunu Orta-Üst Triyas yaşlı Yağızali formasyonu ve Elmalı formasyonu izler. Üst Triyas yaşlı Yeniçöte karbonatlı istifini bu birimlerin üzerine çökelmiştir. Sahada genç alüvyonlarda dere içlerinde kısmen bulunmaktadır (Özgüven vd, 2009).

3.1.7 Rezerv

Mostralar mercekler halinde olmakla beraber siyah şist – metasilttaşı – metakumtaşı ardalanmasının sahanın büyük bir kısmında örtülü olarak bulunduğu arazi gözlemleri ışığında söylenebilir. Çalışma sahasının ayrıntılı rezerv çalışmaları ancak ileriye dönük teşebbüsler için sistematik olarak

Çizelge 1. Kimyasal analiz sonuçları

Bileşim	%
Na ₂ O	0,98
MgO	2,54
Al ₂ O ₃	18,16
SiO ₂	56,11
P ₂ O ₅	0,16
K ₂ O	3,73
CaO	3,04
TiO ₂	0,70
MnO	0,19
Fe ₂ O ₃	6,89

Pavlov (1960) en uygun viskoziteyi elde edebilmek için gerekli iki şartı aşağıdaki şekilde açıklamaktadır:

- 1) [SiO₂/Eriticiler (Fe₂O₃,MgO,Na₂O,K₂O,CaO)] oranı ≤ 4 olmalıdır. Daha düşük oran ile daha fazla genleşme sağlanabilir.
- 2) Fe₂O₃+MgO+Na₂O+K₂O toplamının CaO'ya oranı 4'ten fazla olmalıdır.

Pavlov (1960)'un uygun viskozite şartları ile incelenen kilin kimyasal analiz değerleri karşılaştırıldığında [SiO₂/Eriticiler] oranının 3,27; Fe₂O₃+MgO+Na₂O+K₂O toplamının CaO'ya oranı ise 4,65 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre kilin istenilen oranları sağladığı görülmektedir.

Çalışılan sahalardan alınan numunelerin içerdiği uçucu madde oranları, oluşacak gazın miktarını dolayısıyla da genleşme oranını etkilemektedir. Genleşme sırasında oluşan gazlardan en önemlileri karbon içeren gazlar (CO, CO₂) olduğu göz önünde tutulursa örneklerin karbon içeriklerinin öğrenilmesi faydalı olacaktır. Genleşme olayını tam olarak açıklayabilmek için de uçucu madde oranları ve elementer karbon deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Bünyede bulunan uçucuların veya gazların fazla olmasının yanında bu gazların bünyede

Çizelge 2. Çalışılan sahalardan alınan numunelerin uçucu madde oranları

Uçucu Madde (%)		6,21
Elementer Karbon (%)	Havada Kuru	0,95
	Susuz Külsüz	16,78

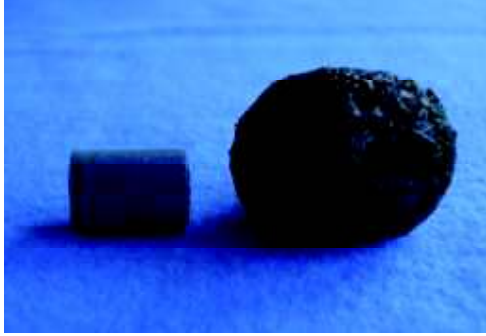
tutulabilmesi de önemlidir. Başka bir deyişle uçucu maddelerin kilin bünyesinde olması gerekmektedir. Bunun yanında da bu gazların genleşme sırasında bünyede tutulmasını sağlayacak sinter kabuğun oluşması gerekmektedir. Böylece gözenekli, hafif agregaların üretimi mümkün olabilir. Eğer uçucu gazlar bünyede tutulamaz ise gazlar uçacak ve genleşme sağlanamayacaktır.

3.4 Genleşmiş Kil Agregası Üretimi

Genleşmiş kil agregası üretimi için en uygun şartların belirlenebilmesi amacıyla 3 farklı tane boyu ve 3 farklı pelet boyunda hazırlanan ham peletler 7 farklı fırın sıcaklığında ve 4 farklı fırında kalma süresinde pişirilmiştir.

Ankara-Kalecik sahasından alınan numuneler üzerine yapılan genleştirme deneyleri sonucunda istenen özelliklerde genleşmiş kil agregası üretimi yapılmıştır. Birim hacim ağırlığı çok düşük ve genleşme oranı çok yüksek olarak agregaların üretilmesi sağlanmıştır. Ham pelet ve genleştirilmiş agreganın görünümü Şekil 5'de verilmektedir.

Üretilen genleşmiş kil agregalarının sıcaklığa ve süreye bağlı olarak farklı kil boyutlarındaki genleşme özellikleri belirlenmiştir. Şekil 6'da farklı üretim koşullarında üretilen genleşmiş kil agregalarının birim hacim ağırlıkları, Şekil 7'de ise genleşme oranları, kil boyu (100, 200 ve 300 µm) ve pelet çapına (5, 10 ve 15 mm) bağlı olarak ayrı ayrı verilmektedir.



Şekil 5. Ham pelet ve genişletilmiş agreganın görünümü

Ankara-Kalecik kili 1200°C 'de erimeye başladığı için agrega kalitesi bozulmaktadır. Dayanımsız, gözenekleri büyük ve düzensiz agregalar oluştuğu için bu sıcaklıktaki birim hacim ağırlığı ve genişleme oranları dikkate alınmamaktadır.

Şekil 6 ve 7 incelendiğinde tane boyuna göre şu sonuçlar elde edilmiştir:

- $100\ \mu\text{m}$ 'lik tane boyundaki numunelerde, (tüm pelet çaplarında) en yüksek genişleme 1150°C 'de ve 15 dakika fırında kalma süresinde elde edilmiştir. $360 - 660\ \text{kg}/\text{m}^3$ birim hacim ağırlıklarına ulaşılabilmiştir. Genişleme oranları ise 2,8- 5,3 kat olarak gerçekleşmiştir.
- $200\ \mu\text{m}$ 'lik tane boyundaki numunelerde, (tüm pelet çaplarında) en yüksek genişleme 1150°C 'de ve 15 dakika fırında kalma süresinde elde edilmiştir. $360 - 370\ \text{kg}/\text{m}^3$ birim hacim ağırlıklarına ulaşılabilmiştir. Genişleme oranları ise 5,5 kat olarak gerçekleşmiştir.
- $300\ \mu\text{m}$ 'lik tane boyundaki numunelerde, (tüm pelet çaplarında) en yüksek genişleme 1150°C 'de ve 15 dakika fırında kalma süresinde elde edilmiştir. $420 - 500\ \text{g}/\text{cm}^3$ birim hacim ağırlıklarına ulaşılabilmiştir. Genişleme oranları ise 3,5- 4,7 kat olarak gerçekleşmiştir.

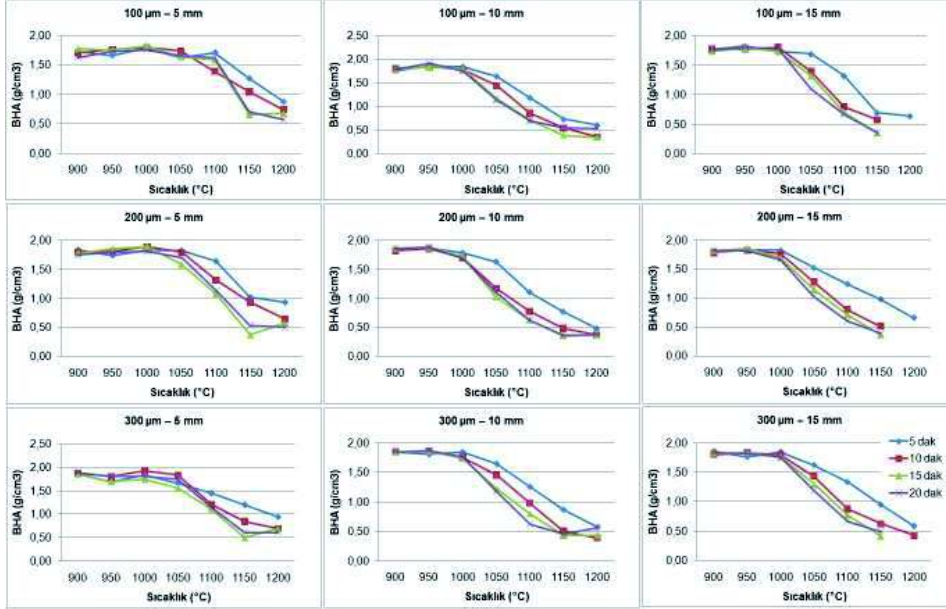
Ankara-Kalecik kilinin tane boyunun ne olursa olsun kritik sıcaklığının 1150°C ve 15 dakika fırında kalma süresi olduğunu göstermektedir.

Şekil 6 ve 7 incelendiğinde pelet çapına göre şu sonuçlar elde edilmiştir:

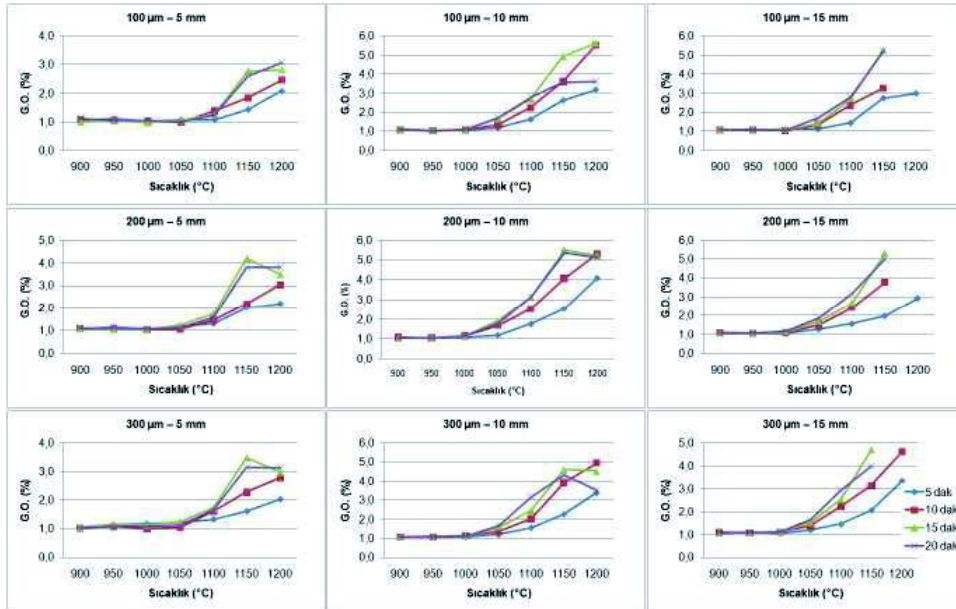
- 5 mm pelet çapında en iyi genişleme 1150°C fırın sıcaklığında ve 15 dakika fırında kalma süresinde elde edilmiştir. Bu fırın şartlarında; $370 - 660\ \text{kg}/\text{m}^3$ birim hacim ağırlığına ulaşılmış ve 2,8 – 4,2 kat genişleme sağlanmıştır.
- 10 mm pelet çapında en iyi genişleme 1150°C fırın sıcaklığında ve 15 dakika fırında kalma süresinde elde edilmiştir. Bu fırın şartlarında; $360 - 430\ \text{kg}/\text{m}^3$ birim hacim ağırlığına ulaşılmış ve 4,6 – 5,5 kat genişleme sağlanmıştır.
- 15 mm pelet çapında en iyi genişleme 1150°C fırın sıcaklığında ve 15 dakika fırında kalma süresinde elde edilmiştir. Bu fırın şartlarında; $360 - 420\ \text{kg}/\text{m}^3$ birim hacim ağırlığına ulaşılmış ve 4,7 – 5,3 kat genişleme sağlanmıştır.

Birim hacim ağırlık değerleri göz önünde tutulduğunda, kil boyunun azalması genişlemeyi artırdığı sonucu çıkmaktadır. Ancak, endüstriyel anlamda düşünüldüğünde, öğütme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle fazla öğütme de istenmemektedir. Elde edilen değerlerde de kritik kil boyunun $-200\ \mu\text{m}$ civarında olduğu görülmektedir. En iyi sonuçların da $-200\ \mu\text{m}$ boylu kilden elde edildiği görülmektedir. Bununla birlikte, $-100\ \mu\text{m}$ kil boyu ile de oldukça benzer sonuçlar elde edilmiştir. Aslında bu da istenen bir sonuçtur. Böylece daha az öğütme ile etkin bir genişleme sağlanabilmektedir.

Kil boyunu değerlendirirken şu noktanın da düşünülmesi yararlı olacaktır. $-300\ \mu\text{m}$ kil boylu peletlerden elde edilen sonuçlar göz önünde tutulduğunda, elde edilen değerlerin oldukça iyi olduğu söylenebilir. Alternatif olarak, eğer kullanım alanına göre istenen genişmiş kil agregası üretimi için daha az



Şekil 6. Farklı sıcaklık ve sürelerde kil boyu ve pelet çapına göre agregaların birim hacim ağırlıklarının değişimi



Şekil 7. Farklı sıcaklık ve sürelerde kil boyu ve pelet çapına göre agregaların genleşme oranlarının değişimi

öğütme masrafı ile -300 µm kil boyu da kullanılabilir. Çünkü birim hacim ağırlığı 420 kg/m³ olan ve yaklaşık 5 kat genişebilme özelliği bu kil boyunda sağlanabilmektedir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise, Ankara-Kalecik kilinin genişmeye başladığı sıcaklık ve süredir. Bu en uygun sıcaklıktaki fırın koşulunda çalışılarak optimum maliyetle agrega üretimi anlamına gelmektedir. Üç farklı kil boyu için de genişmeye başlama sıcaklığının 1050°C olduğu görülmektedir. 1100°C'de 1000 kg/m³'ün altında genişen kil agregası üretmek mümkündür. Bu da yaklaşık 2,5 kat genişme demektir. Genleşmiş kil agregasının kullanım alanına göre bu sıcaklıkta da üretim yapılabilir. Buradan elde edilecek genişen kil agregaları dayanımlı beton imali için önemli olabilecektir.

4 SONUÇLAR

Ankara-Kalecik'te bulunan kil sahasının genişmiş kil agregası üretiminde değerlendirilebilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir:

- Ankara-Kalecik kilinin yüksek kalitede genişmiş kil agregası üretimine uygun olduğu yapılan çalışmalar sonucu görülmektedir.
- Ankara-Kalecik kili incelenen farklı üretim parametrelerinin tamamında (tüm kil ve pelet boylarında) genişme göstermektedir. Buradan kullanım alanına uygun olarak farklı üretim koşullarında farklı özelliklerde genişmiş kil agregalarının üretiminin mümkün olduğu görülmektedir.
- Ankara-Kalecik kilinin geliştirme deneyleri sonucunda en uygun kil boyunun 200 µm olduğu tespit edilmiştir.
- Ankara - Kalecik kili için en uygun pelet çapının 10 mm olduğu tespit edilmiştir.

- Ankara-Kalecik kili için en uygun fırın şartlarının 1150°C sıcaklık ve 15 dakika fırında kalma süresi olduğu tespit edilmiştir. Bu şartlar tüm numuneler için gerçekleşmiş ve 1150°C kritik bir değer olarak öne çıkmıştır.
- Ankara-Kalecik kilinin genişmeye 1050°C'de başladığı, 1100°C'de ise genişmiş kil agregalarının birim hacim ağırlıklarının 1000 kg/m³'lere ulaştığı tespit edilmiştir. Buradan 1100°C'de üretim yapılmasının mümkün olduğu görülmektedir.
- En uygun üretim koşulu olan 200 µm kil boyunda, 10 mm pelet çapında, 1150°C fırın sıcaklığında ve 15 dakika fırında kalma süresinde agrega birim hacim ağırlığı 360 kg/m³, genişme oranı 5,5 olan agrega üretimi mümkün olmaktadır.

Ankara ilinin yapı potansiyeli göz önüne alındığında Kalecik'te bulunan kil sahasının endüstriyel olarak büyük öneme sahip olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aras, A., 2008. Kişisel Görüşme, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı, Mineraloji Petrografi Araştırmaları Birimi, Ankara.
- ASTM C493-98, 1998. Standard test method for bulk density and porosity of granular refractory materials by mercury displacement.
- EIPPCB, 2005. Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry, European Commission Directorate General Joint Research Center, Draft Reference Document, 253.
- ESCSI, 2008. Expanded Shale, Clay & Slate A World of Application... Worldwide, Expanded Shale, Clay and Slate Institute, Utah.
- Gündüz, L., Şapcı, N., Bekar, M. ve Yorgun, S., 2006. Genleşmiş Kilin Hafif Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Kibited, 2, 43-49.
- Kvande, T., 2001. Investigations of Some Material Properties for Structural Analysis of LECA Masonry, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Civil and Environmental

- Engineering, Department of Building and Construction Engineering, PhD Thesis, Norway, 252.
- Özgüven, A., 2009. Genleşen Kil Agrega Üretimi ve Endüstriyel Olarak Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 307.
- Özgüven, A., Aras, A., Çandır, İ., Oral, E., Bayrakdar, H., Açıkgöz, Z.Y., 2009. Bazı Genleşen Kil Zuhurlarının Değerlendirilmesi Proje Raporu, Rapor No: 11224, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 105.
- Pavlov, V.F., 1960. The Effect of Viscosity Changes in the 800-1200° Range on The Vitrification and Bloating of Low Refractory Clays, Glass and Ceramics, 17(3), 133-137.

Uçucu Kül Katkının Çelik Lifli Betonun Eğilme Dayanımı Üzerindeki Etkileri

Effects of Fly Ash Usage on Flexural Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete

E. Kömürlü, A. Kesimal, H. Bekar

Karadeniz Technical University Mining Engineering Department, Trabzon, Turkey

ÖZET Bu çalışmada, çelik lif katkının eğilmeye maruz kalan beton malzemelerin yenilme mekanizmaları üzerindeki etkilerine değinilmiş ve uçucu kül katkının çelik fiber kullanımı üzerindeki etkileri deneysel çalışmalar ile incelenmiştir. Karşılaştırılan farklı tasarımların aynı kullanım amacına yönelik olması anlamında, kül katkılı ve külsüz beton karışımları aynı çökme (slump) değerlerini sağlayacak şekilde bir miktar çimento ve agreganın aynı anda hacimce ikamesi olarak uçucu kül eklenmiştir. Farklı kür sürelerine sahip numuneler üç noktadan yüklemeli eğilme ve beton plak yükleme testlerine tabi tutulmuşlardır. Uçucu kül katkının, üç noktadan eğilme ve plak yükleme testi sonuçlarına göre çelik fiberli betonun eğilme dayanımını ekonomik olarak iyileştirdiği görülmüştür.

ABSTRACT In this study, effects of steel fiber additive on flexure concrete failure mechanisms are discussed. Fly ash additive effects on steel fiber usage was investigated with experimental studies. Compared fly ash added and ashless concretes have same slump level for comparing concrete materials that can be used for same application. In experimental work, fly ash was used as substitution of cement and aggregate by volume. Different curing times concrete specimens were tested with three point flexural strength and slab loading tests. According to results of experimental work, fly ash increases flexural strength of steel fiber reinforced concrete, economically.

1 INTRODUCTION

Steel fiber has been started to use as concrete additive, since early times of 1970's. Steel fiber significantly increases toughness, ductility, impact strength and tensile strength of concrete. Length to diameter ratio, shape and tensile strength of steel fiber are important parameters for reinforcement efficiency (Kömürlü and Kesimal, 2011). Dynamic load strength of concrete is increased significantly by fiber addition, because of concrete ductility increasing. Especially, dynamic load strength is very important for concrete support of underground constructions that are excavated with blasting. Undesirable cracks can be seeded on concrete because of underground

blastings (Zhang et al., 2005). In addition to resist concrete cracking, steel fiber can hang up cracked concrete parts and prevent concrete falling down. Steel fiber causes favourable residual tensile strength after concrete is cracked (Buratti et al., 2011).

Steel fiber improves the freezing-thawing resistance of concrete (Yıldırım and Ekinç, 2006). Steel fiber concrete additive usage has been using for last 40 years (Kömürlü, 2012). Fiber addition causes to bridge effect in concrete. Strength and crack propagation resisting are improved by this way. Figure 1 schematically shows bridge effect of fiber in flexured beam. Steel fiber isn't economical additive for improving compressive strength of concrete (Kömürlü and Kesimal, 2012).

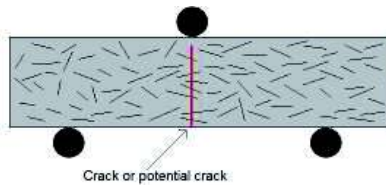


Figure 1. Bridge effect of fiber

Silica fume is used as a concrete additive to increase both compressive strength and tensile strength of concrete. Because of tensile zone strength increasing, flexural strength of concrete increases with silica fume additive (Bhanja and Sengupta, 2005).

Silica fume is ultrafine pozzolanic material which is also known as microsilica. It is amorphous silicon dioxide. It fills the micro pores in cement-water mix. Also, it fills some empty volumes between cement-water mortar and aggregates. It increases the adherence between aggregate and cement-water mortar. It makes more intact concrete. Silica fume is another freezing-thawing resistance improver for concrete. Silica fume can react with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ that occurs on aggregates surfaces. Aggregate - cement mortar interface adherence increases with silica fume additive, because of physical and chemical reasons (Topçu and Canbaz, 2002).

Silica fume increases the steel fiber - concrete interface adherence and bridge effect efficiency of steel fiber. Therefore, tensile and flexural strength of steel fiber reinforced concrete increases with silica fume additive (Eren and Çelik, 1997).

Fly ash is another pozzolanic concrete additive that is generally used as substitute of cement (Siddique, 2003). It is coarser than silica fume. It is cheaper than silica fume. In this study, fly ash is used to investigate its effects on steel fiber reinforced concrete flexural strength. Fly ash decreases the compressive strength of fiberless concrete when it is used as cement substitute (Demir, 2009). Fly ash increases the compressive strength, if it is used as substitute of aggregate (Siddique, 2003). Fly ash additive changes the fluidity of fresh concrete. Fly ash decreases the slump value of concrete if it is replaced with aggregate. Because surface area increases as a result of its smaller particle size than aggregates'es. If aggregate is replaced, fly ash added concrete without plasticizer additive may not be an alternative for fly ashless concrete for same application. It depends on the fly ash ratio.

Flexural strength of support concrete is important for many mining and construction applications. For example, shotcrete support can be exposed to flexuring effect as a result of wedge movements. Flexuring and punching shear effect can actualize together on concrete support. Slab loading test is applied to define punching strength of concrete. Punching cone occurs under loading area as result of punching shear failure. Small localized load increases the punching failure risk (Theodorakopoulos and Swamy, 2002). Generally, pure punching effect doesn't actualize. Even though punching cone occurs, failure generally actualizes as result of both punching and flexuring (Menetrey, 2002). For higher flexuring effect, cracks start to occur at the mid parts of slab, and propagate to longitudinal and transversal borders of slab. Major cracks spread along slab corners. 60cm*60cm square specimens are widely used to apply slab loading test (Rao et al., 2009).

Shotcrete is longitudinally and transversally supported by rock bolts. Slab loading test represents better this situation than 3 point or 4 point beam flexuring test (Arioğlu et al., 2008). Some definitions can be seemed in literature that names slab loading test as slab flexuring test. As it was mentioned before, punching shear failure or flexural failure can be actualized for slab loading test specimen. If slab is fixed from edges, punching shear failure probability increases. If it is simply supported, edges lift up more. Generally, flexural failure occurs (Goltermann, 2010).

Deflections decrease with increasing reinforcement ratio, and failure type can change from flexural to punching (Esfahani et. al, 2009). High rod diameter and small aperture wire mesh usage can be shown as an example for decreasing flexural effect as a result of increased support stiffness and decreased deflections. Increasing crosssection area of reinforcement material at the potential punching cone boundary increases the punching strength of concrete (Kömürlü, 2012).

Slab tests can be applied for retaining wall design, besides underground concrete support. Backfill barricade supports are other example for slab loading test result needing topic. Barricades are generally fixed to ground with both vertically and horizontally set rebar bolts from 4 edges. Even though barricades are generally fixed supports, flexural failure generally occurs. Because, backfill pressure is distributed load on

barricade. Although there can be some highly concentrated localized load in backfill like excess pore water pressure in hydraulic or paste backfill, flexural failure is observed for barricade body failure as a result of applied distributed load from backfill (Kömürlü, 2012). Distributed load on slab increases the flexural failure probability (Harris, 2004).

If slab is put on a frame, this can be considered as simply supported slab. If slab is fixed, edges can't lift up and slab failure mechanism changes. Flexuring majority increases with edges lifting up (Goltermann, 2010). Corners of simply supported slabs lift up less. Point fixing can be considered for rock bolted tunnel shotcrete support. However, flexuring boundary of shotcrete can't be lifted freely, because of ground contact. More than 4 rockbolts around wedge or block can be loaded. Neither simply supported tests nor standart fixed slab tests totally represent underground concrete support failure mechanism that is used with rock bolts. However, slab loaded test rather than 3 point flexuring is preferable for this topic (Ortlepp and Stacey, 1998).

Shear stress concentrations in concrete due to wedge load have important role on failing (Kömürlü and Kesimal, 2012). Even if slab has flexural failing, shear stresses has important role on ultimate load. Punching shear cracks and flexural tensile cracks can be seemed together in slabs (Guandalini et al., 2009).

Three point and four point beam flexuring tests were the very popular method for tensile strength measuring before Brazilian tensile strength test has been invented (Gerçek and Özarslan, 2011). Tensile stress at the outer fiber of convex surface of bended beam is calculated with Eq. (1). This formula is suggested according to simple bending theory that is usable for homogeneous and isotropic materials for pure bending (zero shear stress). Concrete material with aggregates can't be considered as isotropic and homogeneous material. And, normally loaded beam is subjected to shear and normal stresses. Nonuniform bending and some torsional effects increase the shear stress concentration in beams. It was understood that beam flexuring test isn't accurate way to measure concrete tensile strength. Tensile strength calculation formula is given for 3 point flexuring test as follow (Gerçek and Özarslan, 2011):

$$\sigma_t = \frac{3Fl}{2bd^2} \quad (1)$$

Where F is vertical load, b is beam width, d is beam thickness and l is support span length between two down supports of three point flexural test. Shear stress minimizes at outer fiber of beam and maximizes on neutral axis. Although first crack occurring majorly deals with tensile strength for isotropic, homogeneous and uniformly bended beam, cracks propagate due to shear and tensile stresses. Shear stresses effect tensile stress occurring when beam is flexured and failing load. Maximum shear stress in 3 point flexured beam can be calculated with Eq. (2) (Malek et al., 1998).

$$\tau_{\max} = \frac{3V}{2bd} \quad (2)$$

Where V is shear force that is derivative of bending moment according to $l/2$. It is equal to $F/2$, but change sign at alignment of F . Therefore, V has different signs for left and right sides of F in beam, because of changing bending moment rotation. Shear and normal stresses have roles on both slab and beam failure mechanisms. Roles of normal and shear stresses vary on failure, according to loading mechanism. Results can be significantly change with changing loading mechanisms. Representative test method must be choosen for application area. In this study both slab loading strength and three point flexural strength of fly ash added and ashless concretes are investigated.

2 EXPERIMENTAL STUDIES

Fly ash was added to concrete mix as substitute of both cement and aggregate. Similar slump interval fly ash added and fly ashless steel fiber reinforced concretes were compared. Cem 2 portland composite cement and fly ash of Çayırhan thermal power plant were used in experimental work. Fly ashless concrete contains 450 kg/m³ cement, 1575 kg/m³ aggregate, 225 kg/m³ water, 45 kg/m³ steel fiber, 5 kg/m³ plasticizer. Maximum particle size of used aggregates is 8 mm. It is shotcrete aggregate. Used fly ash is coarser than cement and finer than aggregate. Maximum particle size of used cement is 80µm, and 40% of cement is under 10 µm. 95% of used fly ash is finer than 315 µm, and 65% of fly ash is coarser than 20 µm.

Before slump testing, fresh concrete was mixed for 8 minutes in mixer. 18 kg cement, 9 kg water, 63 kg aggregate, 200 gr plasticizer and 1.8 kg steel fiber were added in each mixer cycle for fly ashless concrete specimens. 0.95 kg cement and 1.90 kg aggregate were removed and 2.27 kg fly ash was added to each mixer for fly ash added steel fiber reinforced concrete specimen preparation. Specific gravities of cement, aggregate and fly ash are 3.15, 2.6 and 2.2, respectively. Therefore, 302 cm³ cement and 731 cm³ aggregate were removed. And, 2.27 kg (1033 cm³) fly ash was added in one mixer. Added fly ash volume is same with the sum of removed cement and aggregate volumes. Slump levels of fly ash added concrete and fly ashless concrete are similar. Difference doesn't pass 0.5 cm interval. Slump can be considered as 22.0 cm. Figure 2 shows slump testing.



Figure 2. Slump testing

Therefore, compared fly ash added concrete and ashless concrete can be used in same application, according to their slump levels.

Slab loading test was applied on 2 days, 7 days and 28 days cured fly ash added and ashless steel fiber reinforced concretes. Slab dimensions are 60cm*60cm*10 cm. Loading area is circular and 19.6 cm². Ultimate loads for slab specimens are given in Table 1.

Table 1. Slab Loading Test Results

Concrete type	Ultimate Slab Load (kN)		
	Cured for 2 days	Cured for 7 days	Cured for 28 days
SRC	18.40	22.43	26.96
FASRC	25.12	31.18	40.52

Figure 3 shows slab specimen preparation. All specimens were mixed for 8 minutes and all slabs were casted with same condition in two steps. Both of fresh concrete specimens were stucked in mold for same number after casting steps. Figure 4 shows LVDT setting to frame under slab specimen and mid point

measurements for it. Figure 5 shows loading apparatus placing on mid point of slab. Figure 6 shows load cell putting on loading cylinder. Figure 7 shows slab loading. Load-deflection graphs of specimens are shown in Figure 8. N2, N7 and N28 represent ashless concrete for 2 days, 7 days and 28 days curing, respectively. And, K2, K7 and K28 represent fly ash added concrete for 2 days, 7 days and 28 days curing, respectively.



Figure 3. Specimen mixing and casting

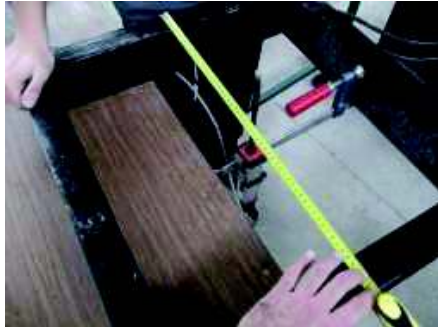


Figure 4. LVDT setting



Fig 6. Load cell putting on circular load area



Figure 5. Loading cylinder placing



Figure 7. Slab Loading

In Table 1, SRC represents steel fiber reinforced concrete, and FASRC represents fly ash added steel fiber reinforced concrete.

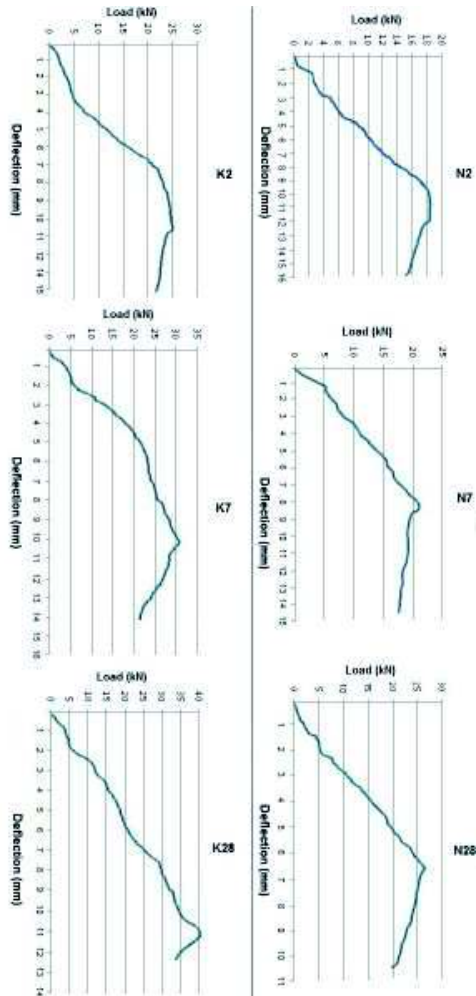


Figure 8. Load-deflection graphs of slabs

In addition to slab loading test, 3 point flexural test is applied on 5cm*5cm*18cm concrete specimens. Horizontal distance between two down support is 11 cm, and circular crosssection supports have 4 cm diameter. Loading rate was 0.2 kN/second. 3 point flexural strength and slab loading test specimens have same concrete mix design. 3 point flexural strength test specimens were

casted in metal prismatic molds that is shown in Figure 9. Fresh casted concretes were stuck with thin rods, molds were vibrated and slowly hit to floor to remove air and seat specimen in mold. Surfaces were flattened with ruler as it is shown in following Figure 9.



Figure 9. Flexural test specimen preparation

Flexural strength test is shown in Figure 10. Failed specimens are shown in Figure 11. Strength means and standard deviations are given in Table 2. 18 specimens are tested with three point flexural test.

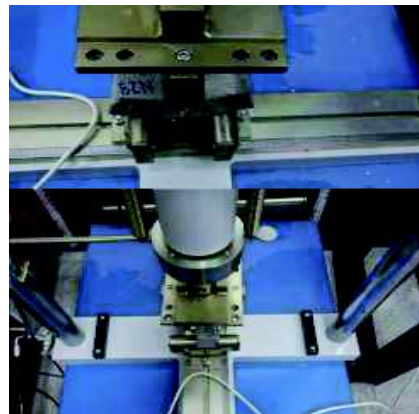


Figure 10. Three point flexural strength test

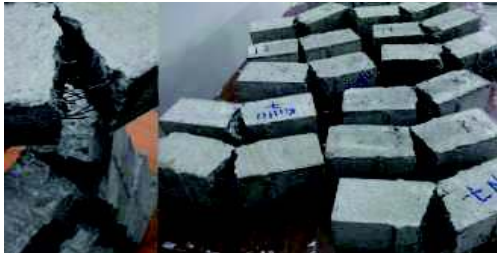


Figure 11. Failed flexural strength specimens

Table 2. 3 point flexural strength test results

S.T.	2 days cured		7 days cured		28 days cured	
	σ_f (MPa)	S.D	σ_f (MPa)	S.D	σ_f (MPa)	S.D
N	2.84	6.7%	3.27	5.1%	4.32	5.8%
K	2.75	7.5%	3.49	10.7%	5.24	4.0%

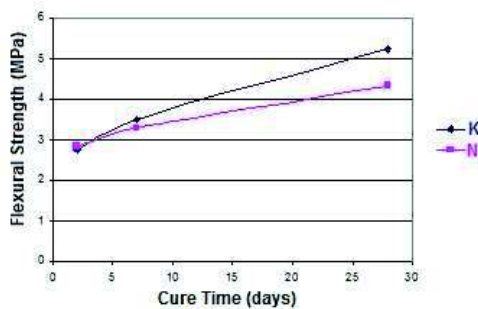


Figure 12. Curing time 3 point flexural strength relations of ashless (N) and fly ash added (K) concretes

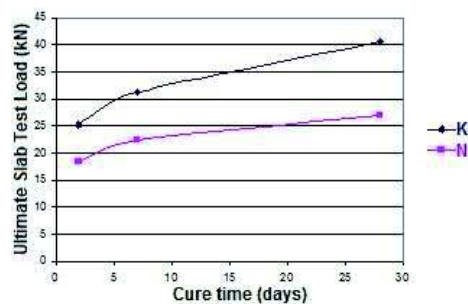


Figure 13. Curing time slab flexuring ultimate load relations of ashless (N) and fly ash added (K) concretes

3 DISCUSSIONS AND CONCLUSION

Fly ash added concrete has higher ultimate slab test load for every cure time. And, strength differences between fly ash loaded and ashless steel fiber reinforced concretes increase with increasing curing time. Also, this situation is obtained for three point flexural strength test. However, for 2 days curing ashless concrete has a little bit higher flexural strength. 7 days cured and 28 days cured fly ash added concretes have significantly greater flexural strengths than ashless concretes. Therefore, it can be said that fly ash supplies more advantage about flexural strength with continuing curing time.

It is observed from deflections of slab test loading specimens that fly ash makes concrete stiffer for early curing times, and ashless concrete stiffness increases more for longer curing times. Fly ash causes lower stiffness for longer cure times. In this study, 2 and 7 days cured fly ash added concretes have higher stiffness than ashless concretes. 28 days cured ashless concrete is stiffer than 28 days cured fly ash added concrete.

Fly ash was used as both concrete and aggregate substitute, together. Therefore, materials slump levels were measured as similar. Used fly ash is coarser than concrete in mix. And, used aggregate is fine aggregate that has 8 mm maximum particle size, and more than 50% material is under 4 mm. Compared concrete designs can be usable for same application area according to their slump test results. Because of using fine crushed aggregate, fly ash price is near with aggregate price. Cost of removed cement decreases the fly ash added concrete price. If coarser aggregate was used, more cement would be removed to supply same slump value. In this time, it is expected to measure lower strengths. Therefore, aggregate and cement effect the fly ash usability as flexural strength increaser for steel fiber reinforced concrete.

Differences between slab flexuring and three point flexuring test results show that these methods cause different failure

mechanisms. Representative method must be used according to investigated application.

REFERENCES

- Arıoğlu, E., Yüksel, A., Yılmaz, A.O., 2008. *Püskürtme beton bilgi föyleri-Çözümlü problemler*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi yayını, 296 s.
- Bhanja, S., Sengupta, B., 2005. Influence of silica fume on the tensile strength of concrete, *Concrete and Cement Research*, 35, 243-247.
- Buratti, E., Mazotti, C., Savoia, M., 2011. Post-cracking behaviour of steel and macro-synthetic fibre-reinforced concretes. *Construction and Building Materials*, 25, 2713-2722.
- Demir, İ., 2009. Aynı oranlarda ikame edilen silis dumanı ve uçucu külün betonun mekanik özelliklerine etkisi, *International Journal of Engineering Research & Development*, 1, 2, 1-7.
- Eren, Ö., Çelik, T., 1997. Effect of silica fume and steel fibers on some properties of high-strength concrete, *Construction and Building Materials*, 11, 373-382.
- Esfahani, M.R., Kianoush, M.R., Morardi, A.R., 2009. Punching shear strength of interior slab-column connections strengthened with carbon fiber reinforced polymer sheets, *Engineering Structures*, 31, 1535-1542.
- Gerçek, H., Özarslan, A., 2011. Tensile strength classification of rock material. *10th Regional Rock Mechanics Symposium*, 105-116, Ankara, Turkey (In Turkish).
- Goltermann, P., 2010. *Reinforced Concrete Slabs-Analysis and Design - An electronic textbook for courses in basic concrete structures*, Documents of Technical University of Denmark, link: <http://www.betonkonstruktioner.byg.dtu.dk>
- Guandalini, S., Burdet, L.O., Muttoni, A., 2009. Punching tests of slabs with low reinforcement ratios. *ACI Structural Journal*, 106, 1, 87-95.
- Haris, D.K., 2004. *Characterization of Punching Shear Capacity of Thin UHPC Plates*. MSc Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA, 131 s.
- Kömürlü, E., 2012. *Effects of rock and granular material horizontal stresses on support design*, MSc thesis, Karadeniz Technical University Mining Engineering Department, Trabzon, Turkey (in Turkish), 180 s.
- Kömürlü, E., Kesimal, A., 2012. Polymer fiber and steel fiber comparison as concrete additive. *16th International Metallurgy and Materials Congress*, 1129-1137, İstanbul, Turkey
- Kömürlü, E., Kesimal, A., 2011. Polymer fibre addition's effects for shotcrete tunnel support. *10th Regional Rock Mechanics Symposium*, 47-55, Ankara, Turkey (In Turkish)
- Kömürlü, E., Kesimal A., 2012. Using Sprayed Polymer as Tunnel Support. *7th Asian Rock Mechanics Symposium*, 1486-1499, Seoul, South Korea.
- Malek, A.M., Saadatmanesh, H., Ehsani, M.R., 1998. Prediction of Failure Load of R/C Beams Strengthened with FRP Plate Due to Stress Concentration at the Plate End. *ACI Structural Journal*, 95, 2, 142-152.
- Menetrey, P., 2002. Synthesis of punching failure in reinforced concrete, *Cement and Concrete Composites*, 24, 497-507.
- Ortlepp, W.D., Stacey, T.R., 1998. Performance of Tunnel Support under Large Deformation Static and Dynamic Loading, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 13, 1, 15-21.
- Rao, S., Ramana, N.V., Gnaneswar K., 2009. Behaviour of restrained sifcon two way slabs, Part 2: Punching Shear, *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, 10, 4, 481-494.
- Siddique, R., 2003. Effect of fine aggregate replacement with Class F fly ash on the mechanical properties of concrete, *Cement and Concrete Research*, 33, 539-547.
- Theodorakopoulos, D.D., Swamy, R.N., 2008. A design model for punching shear of FRP-reinforced slab-column connections, *Cement & Concrete Research*, 30, 544-555.
- Yıldırım, S.T., Ekinçi, C.F., 2006. Çelik, Cam ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma-Çözülme Etkilerinin Araştırılması, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 18, 359-366.
- Zhang, O., Hu, F., Zou, S., 2005. Effects of blast induced vibrations on the fresh concrete lining of a shaft, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 20, 356-361.

Mermer Ocaklarında Çalışma Koşullarının İyileştirilmesi *Enhancement of Working Conditions at Marble Quarry*

T.Tufan

Maden Mühendisi, Tufan Madencilik-Mühendislik – Nazilli-Aydın

ÖZET: Mermer ocakları son 10 yılda ülkemizde madenciliğin en yoğun ilgi alanları olmuştur. Bu bağlamda mermer ocakları daha önce değişik madenlerin açık işletmelerde uygulama alanlarının yeni versiyonu şeklinde gelişmiştir. Ağırlıklı olarak tel veya kollu kesicilerle blok üretiminin nihai amaç olduğu bir üretim şekli olarak uygulanmaktadır. Mermer ocaklarında öncelikle işverenin programı önemlidir. Yatırım içerisinde iş güvenliği ve sistemin doğru kurulmasını isteyen ve buna yatkın işletmeler en az sorunla işletmelerini idare etmektedirler. Çalışma alanlarında doğru ve yeterli makine ve ekipmanı seçerek çalışacak işçiyi eğitebilen işletmeler üretimlerini artırıp işletmelerini büyütebilmişlerdir.

ABSTRACT: Marble quarries in the last 10 years have been the most intense interests in coal seams. In this context, the marble quarries are open to a variety of metals before the new version of the application areas are developed in the form of enterprises.

It is applied as a production type, mainly the ultimate goal is the block production with wire or sleeve shearer. Marble in the quarries, it is important first and foremost employer program. The establishment of the system of work safety and the right to invest in and manage their business at least issue prone businesses.

1 MERMER OCAK İŞLETMELERİ TANIMI

Mermer Ocaklarında ağırlıklı olarak Açık İşletme yöntemleriyle düzenli kademeli ocak şeklinde üretim yapılır. Mermer ocağın bulunduğu yere ve topografik yapıya göre;

- 1-Tepe Ocak
- 2-Yamaç Ocak
- 3-Ova Ocak şeklindedir.

Mermer ocağı yeri tesbit edildikten sonar buraya uygun kademeler oluşturularak üretime başlanır.

Üretim öncelikle sondaj, dağ kesme, yıkım, kütük sayalama, blok sayalama, harfiyat başlıklarıyla yapılır.

1.1 Mermer Sektöründe Ülkemizin Durumu

Doğaltaş sektörü; çeşit ve rezerv zenginliği, sektör deneyimi, hammadde bolluğu, deniz ulaşımında nakliye kolaylığı, dinamik sektör yapısı, kullanılan yeni teknolojiler ve geniş renk skalası ile dünya doğaltaş piyasasında önemli bir yere sahiptir. Sektörde yaklaşık 1.500 adet doğaltaş ocağı, fabrika ölçeğinde 2.000 kadar tesis, orta ve küçük ölçekli 9.000

atölye faaliyet göstermektedir. İstihdam edilen kişi sayısı 300.000 civarındadır. 1990'li yılların başında 40 milyon dolar civarında olan doğaltaş ihracatımız 2000 yılında 188,7 milyon dolara, 2005 yılında 805,6 milyon dolara ulaşmıştır. Mermer ihracatı her yıl bir önceki yıla göre artarak devam etmiş ve 2006 yılında 1 milyar dolar sınırını geçmiştir. 2011 yılında ise doğaltaş ihracatı bir önceki yıla göre % 6,6 artarak 1,7 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir. Sektör son 25 yılda ihracatını 127 kat artırmış olan ender sektörlerden biridir. Dışa bağımlılığı çok az olup, ürettiği katma değeri ülkede bırakmaktadır.

1.2 Mermer Ocaklarında Üretim Unsurları

1.2.1 Mermer Ocakları İş Makinaları

Bu işlem sırasına göre mermer ocağı iş makinaları; sondaj makinaları, dağ kesme makinaları, sayalama makinaları, ekskavatörler, loderler, kaya damperli kamyonlar, titano ve boomlar, elmas tel kesicileri, kollar kesiciler'dir. İş makinalarının bakımlı ve doğru kullanılması iş verimini direkt etkiler. Makina parkının tam ve eksiksiz olduğu mermer işyerlerinde üretim kalitesi de yüksektir.

1.2.2 Deneyimli İşgücü

Madencilğin her dalında olduğu gibi mermer ocak işletmeciliğindeki en önemli unsur eğitimli işgücüdür. Mermer ocaklarında üretimin gerektirdiği iş makinalarını doğru ve hatasız kullanmak iş verimini ve kalitesini artırır. İşçinin eğitimli ve bilinçli olması iş güvenliğini olumlu yönde etkiler. Çalışma koşullarının fiziki olarak iyileştirilmesi çalışanın koruyucu malzeme ve bakımlı iş makinaları ile çalışması ile mümkündür.

1.2.3 Enerji ve Makina Bakımları

Mermer ocaklarında iş makinaları ekseriyetle elektrikli olup, yardımcı iş makinası olarak kamyonlar, ekskavatör ve loderler dizel olup motorin ile

çalışmaktadırlar. Dolayısı ile ocaklarda sürekli olarak işinin uzmanı elektrik teknisyenlerine ve makina bakım ve tamiratları için deneyimli makina grubu teknisyen ve ustalarına ihtiyaç olmaktadır.

2 MERMER OCAKLARINDA GENEL DURUM

Ağırlıklı olarak tel veya kollar kesicilerle blok üretiminin nihai amaç olduğu bir üretim şekli olarak uygulanmaktadır. Mermer ocaklarında öncelikle işverenin programı önemlidir. Yatırım içerisinde iş güvenliği ve sistemin doğru kurulmasını isteyen ve buna yakın işletmeler en az sorunla işletmelerini idare etmektedirler.

Çalışma alanlarında doğru ve yeterli makine ve ekipmanı seçerek çalışacak işçiyi eğitebilen işletmeler üretimlerini artırıp işletmelerini büyütebilmişlerdir. Burada mevcut global pazarda yerini alabilmek ve bu sektörde mevcudiyetini ispatlayabilmekte bu gibi önemli unsurlara bağlıdır.

Mermer sektöründe mermer üretimiyle ilgili teknik konularda şunlardır;

Sondaj, dağkesme, yıkım, sayalama, blok üretme, hafriyat yükleme ve boşaltma, pasa sahalarının kontrolü ve denetimi, kademelerin duraylılığının sağlanması, ocakta su ve elektriğin tedariki, atölye çalışmaları, personel sosyal tesisleri ve yönetimi, servis hizmetleridir.

Ocak işletmelerinde düzenli kademeli üretim şeklinin uygulandığı işyerlerinde belirlenen kademe yüksekliği ile kademeler yukarıdan aşağıya doru blok üretmek indirilir. Bu çalışmada sık sık çalışma alanları değiştiğinden işçinin kullanacağı el aletlerinin işyerinde hazır bulundurulması veya taşınması sürekli olamadığı zamanlarda işçilerin kullanmak zorunda oldukları koruyucu malzemeler bile bazen ocaklarda pratik uygulamalar içerisinde olamamaktadırlar. Örneğin emniyet halatı bunun en bariz örneğidir. Çoğu mermer işletmesinde baret dahi sırf işçinin inadı uğruna kullanılmamaktadır.

2.1 Mermer Ocaklarında Karşılaşılan Riskler

Çalışan işçilerin ocaklarda yöresel yakın yerleşim yerlerinden olması istihdamda nimet külfet dengesi açısından olumlu unsurlarının bulunmasıyla birlikte, deneyim ve dikkat konularında yeterli pratik uygulama içinde bulunmayan işçilere kısa sürelerde sorumluluk verilerek riskli çalışma ortamları hazırlanabilmektedir. Bunun gibi işgücünün yetişmesi için belirli bir zamana ihtiyaç vardır.

Mermer ocaklarında çalışma sahaları içerisinde kademeler arasında veya şantiye ve yemekhane tesisleri arasındaki mesafeyi işçiler yürüyerek gelmekte ise bazen güvenli olmayan yollardan gelebilmekte ve buda tehlike veya risk ortaya çıkarmaktadır. İşyerlerinde işçilerin uyacakları tüm çalışma ve kullanacakları yollar ve araçlar ayrıntılı talimatlarla uygulanmalıdır.

İşçiler taşın üzerine tel çalışırken çıkmakta bu dengeli tezgaha alınmayan taşlarda tehlike yaratmaktadır.

Hareketli iş makinaları arasında operatörlerin görüş alanı dışında hareket eden işçiler tehlikeli durum yaratabilmektedirler.

Tel kesme ve sayalama makinalarında telin dönüş istikametinde personel bulunmamalıdır.

Çalışan loder ve ekskavatör gibi iş makinalarının 20 m.yakınına personel yaklaşmamalıdır.

Kademe uçlarına personelin yaklaşmaması için ana yol girişlerinde kademe uçları büyük taşlarla kapatılmalıdır.

Yeni İş Güvenliği Yasasının uygulamaya geçmesiyle birlikte mermer ocaklarında pratikte denetimlerin daha artması ve meydana gelen olumsuz davranış ve olayların azalması beklenmektedir.

Mevcut işgüvenliği yasaları ve tedbirleri uygulamada şantiyelerde işçilerin ve işçi amirleri çavuşların anlayabileceği ve

uygulayabileceği dil ve anlatım şekli ile duyurulmalıdır.

2.2 Mermer Ocaklarında İş Güvenliği Önlemleri

Mermer işkolunda öncelikle işin ve işçinin üretim esnasında sürekli yönetim unsurlarınca takip edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte üretim sırasına göre çalışma basamaklarının ayrı ayrı çalışma talimatları oluşturulup bunun uygulanması ve bu çalışma talimatlarını destekleyen işgüvenliği talimatlarının oluşturularak sıkı takibi gerekmektedir.

Sondaj Ekibi çalışma talimatı; Sondaj Ekibi İşgüvenliği Talimatları, Dağ Kesme ekibi Çalışma talimatı, Dağ Kesme Ekibi İşgüvenliği Talimatları, Yıkım Ekibi Çalışma talimatları, Yıkım Ekibi İşgüvenliği Talimatları, Koruyucu Malzeme Kullanma Talimatları, Tel Kesme Ve Sayalama Talimatları, İşgüvenliği Talimatları, Yükleme Talimatı, Operatör Talimatı, Yükleme ve Taşıma Talimatları, Yağcı çalışma Talimatı, Servis Araçları Çalışma Talimatı vb. çalışma yerinin, makine grubunun, yöresel ve iklimsel faktörlerin, işyerinin belirleyici unsurları dikkate alınarak hazırlanan talimatların çalışan personel eğitimlerle öğretilmesi, işten ziyade işçinin değerli olduğu, işçinin de kendisini değerli ve önemli hissetmesi gerektiğini, işçinin işine gereken önem ve değeri vermesi gerektiğini yeterince anlatabirsek biz yönetici mühendisler işyerlerimize karşı sorumluluklarımızı yerine getirmiş oluruz. Karşılıklı olarak verebileceklerimiz ve işyerlerinin de bunun ne kadarını alabileceği konusunda ön bilgimiz olursa işimiz de o ölçüde kolaylaşacaktır.

3 İŞ GÜVENLİĞİ ÖNERİLERİ

Her üretim unsurunun çalışma şartlarına göre ayrıntılı çalışma talimatları ve işgüvenliği talimatları hazırlanarak, bu

konularda faaliyet gösterecek ekipler kendi konularında sürekli eğitilerek iş güvenliğinin sürekliliği sağlanabilir. Burada teknik konulardan başka çevresel, sosyal, kişisel, yöresel faktörlerde önemlidir. İş güvenliğinin işyerlerinde sağlanması işçinin bu konudaki eğitimine ve fiziki dayanımına, sağlıklı yapısına, işine ve kendisine verdiği değerde çoklukla bağlıdır. İşçiler işyerine özellikle gece vardiyalarında dinlenmiş gelmeyecek çalışma saatleri içerisinde hem kendisini hemde işi tehlikeye düşürebilmektedirler.

İşyerlerinde yeni düzenlemelerle teknik eleman, daimi nezaretçi çalışması sağlanmaya çalışılmaktadır. Burada yasanın kontrol ve uygulamasının takibini yapacak bölgesel unsurlara da görev verilmelidir. İşyerlerinde teknik elemanın gece vardiyalarında görev yapıp yapmadıkları yerinde denetlenmelidir. İşletmelerin çalıştırdıkları personele işi denetlemek için tanıdıkları imkanlar, verdikleri araç ve gereçler yerinde incelenmelidir. Bu konuda gerekli ve yeterli şartları yerine getirmeyen işletmelere ciddi yaptırımlar uygulanmalıdır.

İşyerlerinde teknik elemanların yapmaya çalıştıkları düzenlemeleri, işveren çoğu zaman üretime verilecek zamanın ve emeğin azalması olarak görmekte ve bu konuda işçiye ; mühendis ve teknikerden ziyade çavuşları dikkate almaları söylenmektedir. İşverenin mühendis ve teknik elemandan yana tavır almayı, çavuş ve kendi yöneticisinden yana tavır sergilemesi ile o işyerinde görev yapan mühendis ve teknik elemanların yaptırım gücünü düşürmekte, mühendis arkadaşları yıldınlığa düşürebilmektedir. En önemlisi de budur. Buradan sonra iş güvenliği ve teknik konularda mühendisin şevki kırılınca geride sadece formaliteler ve mecburiyetlerin yerine getirilmesi kalmaktadır. İşletmelere gelen mühendis ve teknik elemanların özellikle yeni mezun meslektaşlarımızın tecrübe edinmeleri için ciddi bir süreç

ihtiyaçları vardır. Bunun için üniversitelerde branş seçimi ve o branşta pratik stajlar çok önem kazanmaktadır. Üniversiteden yeni mezun meslektaşlarımız maalesef işyerlerinde düşük ücretle çalıştırılabilecek ve her türlü fedakarlığın istenebileceği ucuz teknik işgücü olarak görülmekte ve bu şekilde kabul görmektedirler

Ocak içi çalışma alanlarında kış şartlarında işçilerin ısınma ve korunma amaçlı seyyar konteynırlar kullanılabilir. Bu seyyar konteynırlar içerisinde işçilerin koruyucu malzemeleri ve iş güvenliği malzemeleri de düzenli olarak bulundurulabilir.

30 Haziran 2012'de Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu 1 Ocak 2013 tarihinde çok tehlikeli ve 50 işçinin üzeri işyerlerinde uygulamaya geçmiştir. Çıkarılan yasa ile bu konuda hizmet verecek teknik elemanları yönetmelikle belirleyen düzenleme yeterli değildir. A grubu uzmanların belirli bir süre çalışmasını öngören yasa bu konuda B grubu uzmanları yetkilendirmiştir. Sektörün gerçeklerine aykırı ve acele hazırlanan kanun sektörde ciddi sıkıntılar yaratabilecektir. Bunun yerine meslek odalarının görüşlerine uygun olarak her branşta belirli yıl faaliyet gösteren teknik elemanların yetkilendirilmesi ile sektörü tanıyan ve üretim unsurlarını bilen mühendislerce konunun takibi daha akılcı olacaktır.

3.1 Mermer İşletmelerinde İyileştirme Önerileri

- Bilgilendirme, bilinçlendirme ve eğitim çalışmalarının işletmelerde sürekli yapılabilmesi
- Mermer işletmelerinde işçi sağlığı iş güvenliği uygulama ve danışmanlık hizmetlerinin uygulanması
- Mermer işletmelerinde işçi sağlığı iş güvenliği odaklı süreç geliştirme çalışmalarının kabulü

- Mermer ocaklarında elmas tel kesme makinası ile kesim sonucu oluşan risklerin önlenmesi
 - İşletmelerde gürültü, titreşim vb. gibi unsurların işçi sağlığı açısından belirlenmesi ve ölçülmesi
 - İşletmelerin yapacağı yatırımlarda çalışan personel arasında işyeri benimseme şartlarını geliştirerek personelin güvenli çalışma ortamı yaratılması
 - Ocak içi iş makinalarının modernizasyonu ve işçilerin çalışma saatlerinde dinlenme araları uygulanması
 - Şantiye sosyal tesislerinin fiziki ve içerik olarak yeterli olması
 - Yönetici personele yılsonu primi gibi özendirici ve teşvik edici uygulamalar ile motivasyonu sağlama
 - Mermer ocak ve fabrikalarına işçi sağlamaya yönelik meslek kurslarının mermer bölgelerindeki belediye veya değişik kamu kurumlarınca açılmalı bu mesleğe hazırlama kurslarında gerçek mermer iş makinalarıyla yeterli eğitim verilmelidir, ilgisiz kişi veya kurumların verdiği mesleki belgeler iptal edilerek, bu çalışmalar denetlenmelidir.
- Mermer üretim bölgelerinde yine mermer atıklarından yeni ürün eldesine yönelik meslek kazandırma kursları açılarak(Taş yontu, mozaik dekoratif taş vb.gibi)buralardan eğitim belgesi alanların ürünlerini pazar

4 PASA SAHALARININ YÖNETİLMESİ VE DOĞAYA KAZANDIRILMASI

Mermer ocaklarında pasa sahalarının yönetilmesi çoğu zaman mermer sahasına en yakın,ekonomik olmayan alan seçilerek buraya pasalar taşınmakta ve sürekli bu sahalar yükseltilecek uygun olmayan yeni arazi şekilleri ortaya çıkmaktadır.Yapılacak olan yasal düzenleme ile Orman Bakanlığı ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı katkıları ile her mermer sahasına özel olarak

uygulanabilecek,fakat yakındaki kuru dere yatakları ve engebeli arazinin dolgu ile doldurulup,üzerine nebati malzemenin serilmesi şartıyla tekrar düzgün,tarıma elverişli alan yaratmak ana fikriyle pasalar dar alanlarda dikine istiflenerek yeni pasa dağları oluşturulmaktadır. Bunun yerine, mevcut arazinin mermer işletmesine tesfiye ve rehabilitesi amaçlanmalıdır.Orman Bölge müdürlükleri bu konuda yeniden teşkilat yapısını düzenlemeli, orman işletmesi memurlarının bu konuda kadrolarına yeni maden mühendisleri ve çevre mühendisleri olarak kontrol yetkileri olan birimi oluşturup uygulamaya geçilmelidir. Orman bedeli adı altında her yıl madenciden yüksek bedeller alarak madencinin maliyetleri yükseltilmemelidir.Gerektiğinde rayiç değerden arazileri madencilere satma yetkisini orman işletmeleri kullanabilmelidirler.

4.1 Mermer İşletmecilerinin Kamudan Beklentileri

Öncelikli olarak mermer şirketlerinin projelendireceği bu pasaların ikincil maden olarak değerlendirilebileceği madencilik yatırımlarının yapılabilmesi için ucuz motorin, ucuz elektrik enerjisi, vergi indirimi, arazi tahsisi gibi konularda mermer ocak yatırımcısına ciddi teşviklerin uygulanacağı yasal düzenlemeler hızla yapılmalı, mermer konusunda ülkemizin elindeki imkanlar güçlendirilmelidir.

Mermer işletmelerinde ucuz motorin işletmelerin makina parkları ve bu makinaların günlük sarfiyatları dikkate alınarak kullanılan motorinin vergiden muaf tutulması şeklinde uygulanabilir.Mermer işletmeciliği, Devletin gelir unsurlarını artırıcı yeni vergilerin ve enerji maliyetlerinin yükseltileceği bir iş alanı olarak görülmeye devam edilirse mermer yatırımlarının geri dönüşü azalacak ve bu konuda dış pazarlarda şirketlerimiz rekabet şansları azalacaktır.

Yine pasa sahalarında biriken mermer pasalarının kamu yatırımlarında dolgu malzemesi olarak değerlendirilmesi ilgili valiliklerin kontrolünde mermer şirketlerine kaynak yaratacak şekilde pasalar değerlendirilmelidir.

Madencilikle ilgili yapılan çevre ve işgüvenliği konularındaki düzenlemelere işletmecilerin uyması ile mermer üretim maliyetlerinde artışlar meydana gelmiştir.Sektörün gelişmesine paralel olarak artan yönetim giderlerinin sarfiyat unsurlarında kamu desteği yaratarak dengelenmesi beklenmektedir.

5 SONUÇ

Mermer sektörünün dinamik yapısını sürekli kılmak amacıyla yapılan önerilerin dikkate alınması ve bu konularda gerekli yasal düzenlemelerin yapılması olumlu sonuçlar ortaya çıkaracaktır.Yapılan çalışmalarda olumlu sonuçlar alınmış olmakla birlikte halen özellikle farklı kamu kurumlarının eşgüdümlü çalışmamasından dolayı mermer işletmeleri yatırımlarında zaman kaybetmektedirler.Alınacak tedbirlerle mermer işkolunda faaliyet gösteren yatırımcılar daha güvenli çalışma ortamına kavuşacaklardır.

Mermer sahalarımızın sağlıklı ve güvenli işletilmesi bu konuda sektörde gerekli yatırımlarını yapmış olan firmalarca gerçekleştirilmektedir.Firmalar arasında gereksiz rekabet şartları yaratarak özellikle dış pazarda kar unsurunu azaltan ve firmaları zora sokacak girişimlerden şirketlerimizin uzak durması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

TMMOB Maden Müh.odası yayınları
T.Tufan Mesleki Deneyim Notları
www.immib.org.tr
www.maden.org.tr
www.mta.gov.tr

Lazer Tarama Teknolojisi Kullanılarak Agregaların Tane Boyutunun Belirlenmesi

Determination of Aggregate Particle Size Using Laser Scanning Technology

İ.C.Engin,H.U.Öztürk

Afyon Kocatepe Üniversitesi,Maden Mühendisliği Bölümü,Afyonkarahisar

ÖZET Lazer tarama geleneksel ölçme teknikleri ile kıyaslandığında 3B nokta bilgilerinin çok yüksek hızla elde edildiği bir ölçme tekniğidir. Lazer tarama işlemiyle elde edilen nokta bulutundan; temel ölçme verileri, 3 boyutlu çizimler ve katı yüzey modelleri elde edilebilmektedir. Bu çalışmada agregaların tane boyut dağılımının belirlenmesinde yeni bir yöntem olarak lazer tarama tekniğinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla agrega olarak sıkça kullanılan bazalt örneği alınarak, kırma ve eleme sonucu çeşitli tane büyüklüğü sınıflarına ayrılmış, daha sonra bunların farklı oranda karıştırılması ile değişik tane boyu dağılımına sahip karışımlar elde edilmiştir. Tane boyu dağılımı bilinen bu karışımların önce görüntü analizi yardımıyla tane boyu belirlenmiş daha sonra ise lazer tarama verilerinin analizi sonucunda ortalama tane boyları tespit edilmiştir. Görüntü analizleri ölçekli çekilen fotoğraflar üzerinde SplitDesktop yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Lazer tarama sonucunda elde edilen nokta bulutu verilerinin analizi ise Rapidform yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu değerlerle gerçek tane büyüklükleri karşılaştırılarak yöntemlerin geçerliliği test edilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda agregaların tane büyüklüğünün tespitinde lazer tarama yönteminin başarıyla uygulanabileceği sonucuna varılmıştır. Lazer tarama yöntemiyle belirlenen ortalama tane büyüklüğü değeri gerçek değere daha yakın çıkmaktadır.

ABSTRACT Laser scanning is a measurement technique in which 3D point data were obtained with a high speed compared with conventional measurement techniques. Basic measurement data, solid surface models and three-dimensional drawings can be obtained from point cloud which is obtained by Laser scanning process. In this study, applicability of laser scanning technique as a new method for the determination of particle size distribution of aggregates was investigated. For this purpose, basalt samples, which are frequently used as aggregate, were taken. Various grain size classes were formed as a result of crushing and screening and mixtures with different particle size distribution are obtained by mixing them with different rates. First mean particle sizes of the mixes, whose grain size distributions are known, were determined using the image analysis and then laser scanning technology was performed in this purpose. Image analysis was carried out with the software- SplitDesktop on the taken scaled photos. Scanning point cloud data obtained from laser analysis was carried out with the Rapidform software. The validity of the methods was tested by comparing these values with the size of the real one.

As a result of this study laser scanning method can be applied successfully in the determination of particle size of aggregates. The value of the mean grain size determined by laser scanning method is closer to the actual value.

1 GİRİŞ

Lazer ışını, yüksek genlikli, birbirine paralel, tek renkli, aynı faz ve frekansa sahip dalgalardan oluşmaktadır. Lazer ışınlarının frekansının hassas bir şekilde kontrolü, ışının yayılma düzeni veya ışınların olağanüstü yoğunluğu ve geniş bir uygulama alanına sahip olması büyük avantajlar sağlamaktadır. Lazer ışınının uzunluk ölçme ve görüntüleme özelliğinin tespitinden sonra sivil ve askeri alanlarda kullanılmaya başlanmıştır.

Lazer ölçmelerinde temel büyüklük, alet ve ölçülen nokta arasındaki mesafedir. Lazer mesafe ölçümü için farklı teknikler kullanılmaktadır. Bunlar; üçgenleme, faz farkı ölçümü, ışığın gidiş/dönüş zamanı ölçümü ya da puls metodudur. Lazer tarayıcılarda, kısa zaman aralıklarıyla lazer pulslarının gönderilmesi ve ölçülmesi esasına dayanan puls metodu kullanılmaktadır (Lıchtı ve Gordon, 2004).

Sensör teknolojisi ve bununla ilgili yazılım araçlarındaki hızlı gelişme; mühendislik çalışmaları, tarihi ve kültürel eserlerin dokümantasyonu ve kent alanlarının 3B modellenmesi, madencilik çalışmaları, deformasyon analizi ve orman alanları ölçümü gibi pek çok alanda geometrik verilerin elde edilmesinde lazer taramayı önemli bir yöntem haline getirmiştir. Lazer tarama tekniklerinin ortaya çıkmasıyla birlikte; sensör modelleme, detay çıkarma, nokta bulutu (point cloud) oluşturma, veri birleştirme ve diğer pek çok alanda yeni araştırma alanları çıkmıştır (Altuntaş ve Yıldız, 2008).

Sayısallaştırma işlemi, var olan fiziksel bir nesne formunu bilgisayar ortamına aktarma işlemidir (Kayhan, 2008). Üç boyutlu sayısallaştırma yöntemi örneğe ait nokta bulutu verilerinin elde edilmesidir. Bu verileri elde etmek için uygulama yöntemine, kullanılan teknolojiye ve hitap ettiklere sektöre göre alternatif metotlar geliştirilmiştir (Akdoğan vd. 2003).

Örneklerden sayısal veri toplamak için uygulanan yöntemlerden dokunmasız tarama sistemlerinden lazer çizgili sistemler, cisim üzerine bir lazer kesiti düşürülmesi ve bu

kesitin cismin üzerinde hareket ettirilmesi prensibi ile çalışırlar. Parça üzerine düşürülen lazer ışını kaynaktan gidiş ve dönüş zamanının, ışın hızıyla çarpılması sonucu otomatik olarak hesaplanır. Cisim üzerinde deformasyona uğrayarak geri dönen lazer ışını, CCD dijital kameralar vasıtasıyla yakalanır. Bu deformasyon verilerinin x,y,z koordinatları trigonometrik olarak hesaplanabilmektedir. Kullanılan sensöre ve yazılama bağlı olarak bir lazer çizgisi üzerinde 650 den fazla nokta veri toplanabilmektedir. Sayısallaştırılan nesne yüzlerce noktadan milyonlarca noktaya varan ve genellikle nokta bulutu olarak adlandırılan bir veriye dönüştürülmüş olmaktadır (Kayhan, 2008).

2 MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada lazer tarama teknolojisi kullanılarak agrega malzemelerin tane boyutlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Agregada olarak bazalt seçilmiştir. Bazaltın seçilme nedeni ise çok yaygın olarak kullanılan agrega çeşidi olmasıdır. Bazalt numuneleri kırma ve eleme işlemleri ile çeşitli tane boyu sınıflarına ayrılmış daha sonra ise bu sınıflardan değişik miktarlarda alınarak farklı tane boyu dağılımına sahip karışımlar hazırlanmıştır. Tane boyu dağılımı bilinen bu karışımların önce görüntü analiz yöntemiyle tane boyu dağılımı belirlenmiş, daha sonra ise lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulutu verilerinin analizi sonucunda ortalama tane boyları belirlenmiştir. Sonuç olarak da gerçek tane boyutları ile görüntü analizi ve lazer tarama verilerinin analizi ile elde edilen tane boyutları değerleri karşılaştırılarak yöntemin geçerliliği araştırılmıştır.

2.1 Bazalt Agregasının Özellikleri

Bazalt magmatik kayalık grubunun yüzey kayacıdır. İçinde mineralojik olarak labrador, piroksen, olivin gibi minerallerden oluşur. Doğada bulunmuş şekli lav akıntıları şeklindedir. Ekonomik olarak kullanımı ise dolgu maddesi, kaplama taşı, kırma taş, travers agregası olarak kullanılır.

Çalışmada kullanılan bazalt örneği kimyasal bileşimi SiO₂ (%50,04), Fe₂O₃ (%8,74), MgO (%8,56), CaO (%9,58), TiO₂ (%0,84), Na₂O (%1,54) ve K₂O (%1,02)'dan oluşmaktadır. Mohs sertlik cetveline göre sertliği 6,5; Schmidt sertlik sıkalasına göre ise 70 oranındadır. Yoğunluğu 2,70 gr/cm³, porozitesi %0,26 ve doluluk oranı ise %99,0'dır. Tane yoğunluğu olarak ise 2,73 gr/cm³'dür.

Kayacın oluşum şekli ojit bazalt (magmatik) şeklindedir. Mikroskop altında intersertal dokulu olup başlıca labrador, ojit ve az oranda epidot, andezin, kuvars ve opak mineraller içermektedir. Ayrıca ikincil olarak klorit, epidot, kalsit ve çok az kuvars içermektedir.

Los Angeles aşınma kaybı (1000 devirde %12), ağırlıkça su emme (%0,7), don kaybı (Mg₂SO₄, %1), yassılık indeksi (%14), şekil indeksi (%14), ince malzeme miktarı (%0,07), çok ince malzeme miktarı (%0,04) oranındadır.

2.2 Agrega Örneklerinin Hazırlanması

Afyonkarahisar'da bulunan ve TCDD'ye bağlı olan travers fabrikasından alınan bazalt örnekleri 31,5 - 22,4 mm, 22,4 - 16 mm, 16 - 11,2 mm, 11,2 - 8 mm, 8 - 5,6 mm, 5,6 - 4 mm, 4 - 2 mm ve 2 mm altı olarak sınıflandırılmıştır. Bu fraksiyonlar çeneli kırıcıda kırma ve daha sonrasında eleme işlemi sonucunda hazırlanmıştır.

Hazırlanan bu fraksiyonlardan değişik miktarda bazalt örnekleri alınarak tane boyut dağılımı bilinen 5 farklı karışım hazırlanmıştır.

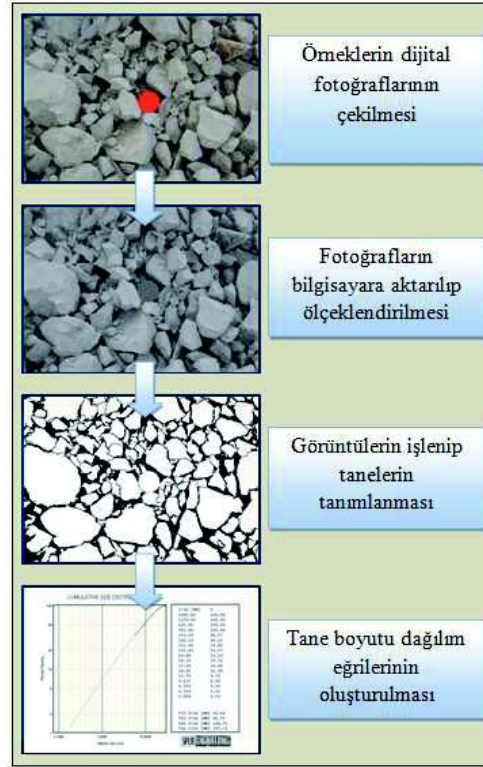
Çizelge 1. Hazırlanan karışımların tane boyut dağılımları (Kümülatif elek altı, %)

Elek Açıklığı (mm)	Karışım No				
	1	2	3	4	5
31,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4	85,7	66,7	100,0	92,3	81,3
16	71,4	40,0	100,0	69,2	75,0
11,2	57,1	20,0	93,3	30,8	56,3
8	42,9	6,7	80,0	7,7	56,3
5,6	28,6	0,0	60,0	0,0	50,0
4	14,3	0,0	33,3	0,0	31,3

Karışımlar hazırlanırken tane boyutu birbirine yakın olan, iri tane fazla, ince tane fazla olacak şekilde farklı karışımlar hazırlanmasına dikkat edilmiştir.

3 GÖRÜNTÜ ANALİZİ İLE TANE BOYUTU BELİRLENMESİ

Hazırlanan karışımların fotoğrafları beş megapiksel çözünürlükte dijital fotoğraf makinesiyle çekilmiştir. Elde edilen görüntüler Split-Desktop 3.0 programı ile analiz edilmiş ve tane boyu dağılımları belirlenmiştir. Çalışmada izlenen yol Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. SplitDesktop yazılı ile görüntü analizinde izlenen yol

Görüntü analizi yöntemiyle belirlenen ortalama tane boyutu değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. 5 farklı karışımında aynı yol izlenmiş ve her biri için görüntü analizi ile

karışımın tane boyutu dağılımı ve ortalama tane boyu belirlenmiştir.

Çizelge 2. Karışımların görüntü analizi ile belirlenen ortalama tane boyutu (mm)

Karışım No	d_{50}
1	11,39
2	13,3
3	6,47
4	9,15
5	11,02

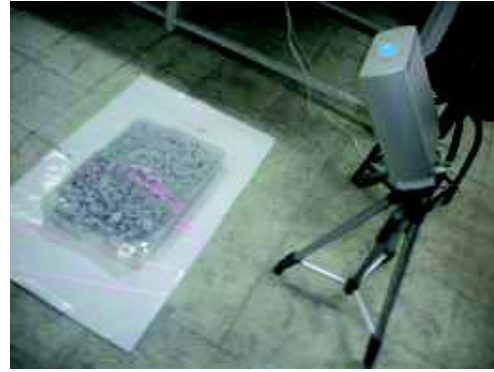
4 LAZER TARAMA TEKNOLOJİSİ İLE TANE BOYUTU ANALİZİ

Lazer tarama işlemleri Adnan Menderes Üniversitesinde Next Engine üç boyutlu lazer sayısallaştırıcı cihazı ile gerçekleştirilmiş, Scane Studio HD PRO ve Rapidform yazılımları kullanılarak nokta bulutu şeklindeki veriler 3B görüntü haline getirilmiştir. Öncelikle 1-5 nolu karışımlar tepsi içerisine koyulmuş üzerine referans noktaları yerleştirilmiştir (Şekil 2).



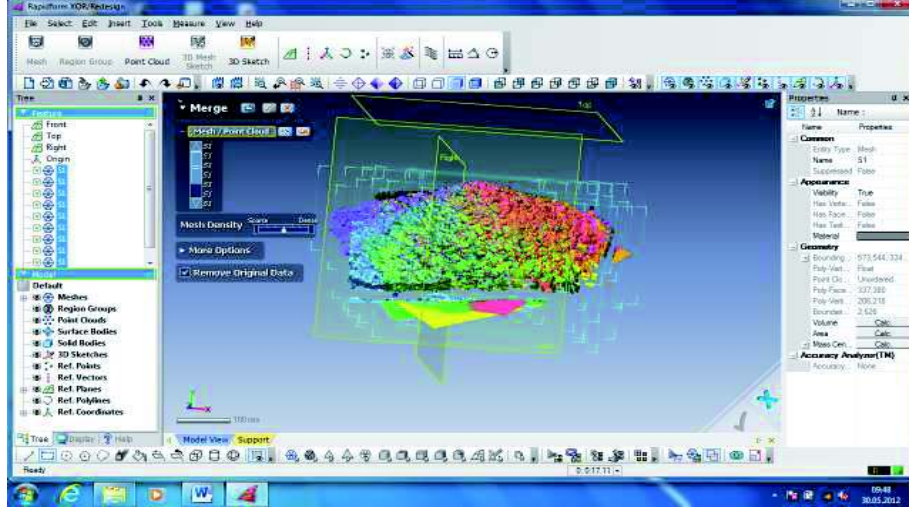
Şekil 2. Numune üzerine referans noktaları yerleştirilmesi

Next Engine lazer tarama cihazı bir tripot üzerine bağlanarak yerden 50cm yukarıya konumlandırılmıştır ve yatayla 45° açı yapacak şekilde pozisyonlandırılmıştır (Şekil. Tarama cihazı 70 cm yarıçaplı bir yörüngeden her tarama konumu açısı 30° olacak şekilde toplam 12 adet tarama yaparak işlem gerçekleştirilmiştir. Bu taramalar referans noktalarından yararlanılarak birleştirilmiş ve bir örneğin tarama verisi oluşturulmuştur.

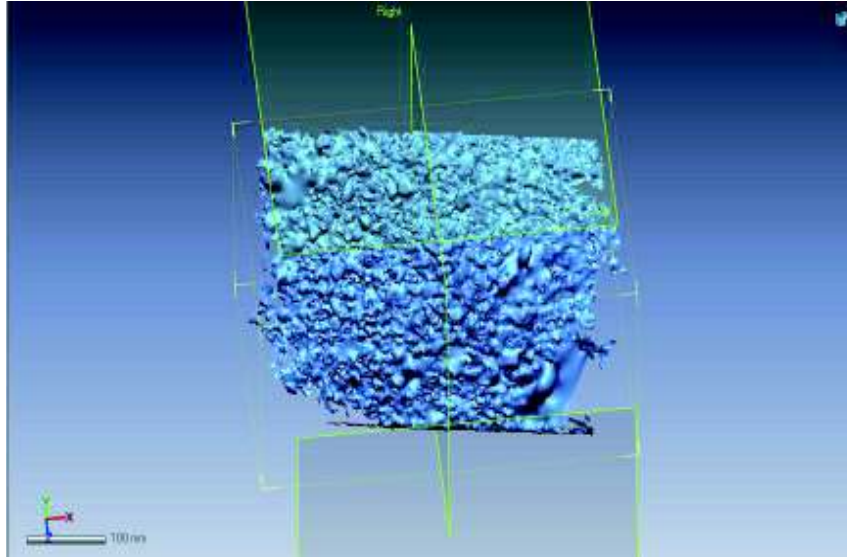


Şekil 3. Next Engine lazer tarayıcının pozisyonu ve tarama işlemi

Lazer tarama yapılan numunelerin nokta bulutu verileri 3B görüntü haline getirilirken Rapidform programında Merge komutu ile tarama verileri birleştirilmiştir. Belirlenen boşluklar Fill Holes komutu ile doldurulmuştur. Büyük boşluklar ve kenar kısımları köprü kurarak bölünmüştür ve doldurulmuştur. Beş farklı karışımdan alınan veriler aynı şekilde düzenlenmiştir. Programın ekran görünümünden bir örnek Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Lazer tarama verilerinin analizi sırasında Rapidform programının ekran görünümü



Şekil 5. Nokta bulutu verilerinin Rapidform ile analizi sonrasında elde edilen 3B görüntü

Lazer tarama teknolojisi kullanılarak yığın üzerindeki agrega taneleri 3B görüntü olarak elde edilmiş daha sonra uygun yazılım ile alansal ortalama yükseklik değeri ve dolayısıyla ortalama tane büyüklüğü değerleri (d_{50}) tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Ortalama tane büyüklüğü (d_{50}) değerleri

Numuneler	(d_{50}) (mm)
1	10,8
2	14,6
3	6,14
4	6,4
5	6,19

5 BELİRLENEN TANE BOYUTU DAĞILIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Lazer tarama teknolojisi ve görüntü analizi teknolojisi kullanılarak elde edilen tane boyutları ile gerçek tane boyutları karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Farklı yöntemlerle belirlenen ortalama tane boyutu değerleri

Karışım No	d ₅₀ değerleri (mm)		
	Lazer Tarama	Görüntü Analiz	Gerçek
1	10,8	11,39	10
2	14,6	13,3	17
3	6,14	6,47	5
4	10,4	9,15	13
5	6,19	11,02	6

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, agregaların tane büyüklüklerinin belirlenmesi amacıyla farklı yöntemler denenerek bunların karşılaştırması yapılmıştır. Öncelikle bazalt örneği alınmış, çeneli kırıcı yardımıyla boyutu küçültülmüş daha sonra ise eleme yardımıyla 31,5mm, 22,4mm, 16mm, 11,2mm, 8mm, 5,6mm ve 4 mm’lik fraksiyonlara ayrılmıştır. Bu fraksiyonlardan belirli miktarlarda örnekler alınarak tane boyu dağılımı bilinen karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlar hazırlanırken gerek görüntü analizinde gerekse lazer tarama uygulamalarında analiz hassasiyetinden kaynaklanan hataların minimize edilmesi amacıyla alt sınır olarak 4mm seçilmiştir.

Bu karışımlardan ölçekli fotoğraflar alınarak öncelikle görüntü analiz yöntemiyle tane boyu dağılımı belirlenmiştir. Bunun için alınan fotoğraflar, SplitDesktop ticari yazılımıyla analiz edilmiş ve fotoğraflarda bulunan taneler tanımlanarak tane boyu dağılım grafikleri çıkarılmıştır. Daha sonra, aynı karışımlar üzerinde NextEngine marka lazer tarayıcıyla tarama işlemi yapılmış ve her karışımın yüzey topoğrafyası nokta bulutu verilerinden yararlanılarak çıkarılmıştır. Üç boyutlu bu görünümeler Rapidform yazılımı kullanılarak analiz

edilmiş ve ortalama tane büyüklüğü değeri her karışım için hesaplanmıştır.

Her karışım için ortalama tane büyüklüğü değeri hem görüntü analizi yöntemiyle hem de lazer tarama yöntemiyle belirlenmiş ve bu değerler karşılaştırılmıştır. Alınan sonuçlara göre lazer tarama yöntemiyle belirlenen ortalama tane büyüklüğü değeri gerçek değere daha yakın çıkmaktadır.

Lazer tarama verilerinin analizinde paket program kullanıldığından tanelerin tanımlanması ve tane boyu dağılım eğrisinin elde edilmesi mümkün olamamaktadır. Bunun yerine ortalama tane büyüklüğü ve en büyük tane büyüklüğü değeri hesaplanabilmektedir. Lazer tarama yöntemiyle tane boyu dağılımının belirlenmesi amacıyla özel algoritmaların ve programların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın devamında bunların yapılması planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, lazer tarama işlemlerinin yapılmasındaki yardımlarından dolayı Adnan Menderes Üniversitesi’nde görevli Öğr. Gör. Evren Barış KAYHAN’a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Akdoğan A., Görür B.V., Yurci M.E. and Durakbaşı M.N. 2003. Comparison of coordinate Measuring machines digitizing capability and an optical digitizer. Proceedings of 4th. Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration, University of Miskole. 261 p, Hungary.
- Altuntaş C., Yıldız F. 2008, Jeodezi, Yersel Lazer Tarayıcı Ölçme Prensipleri ve Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 98, 20-27.
- Kayhan E. B. 2008, Köpeklerin arka bacak anatomik yapılarının incelenmesi ve bilgisayar ortamında modellenerek kinematik analizinin yapılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Lichti, D.D. ve Gordon, S.J.: Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording, Proceedings of FIG Working Week, s.on CD, Athens, Greece, 22-27 May 2004.

BALA (Ankara) Yöresi Alçıtaşlarında Karstlaşma Yüzey Şekilleri ile Birlikte Karstlaşmanın Sondajlara Etkisi
Karstification of Bala(Ankara) Gypsum Area with Associated Landforms and Its Effect to Drilling

Prof. Dr. S. Kulaksız, U. Kozacı
MADİNSAN A.Ş. Ankara

ÖZET: Bala yöresi alçıtaşı yatakları Ankara-Elmadağ'dan başlayıp Aksaray'a kadar uzanmaktadır. Yaklaşık 200 kilometrelik bir uzunluğa sahiptir. Yüzeysel genişlikleri ise 100-8.000 metre arasında değişmektedir. Yüzey genişliği; genç örtünün yayılımı, paleotopografya faylanmalar nedeniyle yer yer kesiklikler gösterir. Alçıtaşı yatağı masif ve/veya çok ince laminalı, kil içerikli tabakalı, nadiren yumrulu, ve/veya selenit tipi mineralleşmeli yapı gösterirler. Alçıtaşının kalınlığı ise kaynaklara göre 100 metre ise de yapılan sondajlı çalışmalarda 200 metreden fazla bir kalınlığa ulaşılmıştır. Bu çalışmada, Bala yöresinde gözlenen karst şekilleri, tipleri ve özellikleri tanıtılacaktır (karen/dolin, mağara ve bacalar, oluklar vb). Rezerve yönelik yapılan sondajlı çalışmalarda karstlaşma durumu düşünülmeden yapılan değerlendirmeler ve korelasyon hatalı rezerv hesaplamalarına neden olmuştur. Bala alçıtaşı yataklarında karstlaşma sonucu sondaj loglarının değerlendirilmesine etkisi ve sonuçları aşağıda verilmektedir.

ABSTRACT: Bala (Ankara) gypsum deposit starts from Elmadağ and extend to Aksaray. It has approximately 200 km long and 100-8.000 meter width. Gypsum outcrops have because of paleotopography, faulting and overlain by young soil overburden full apart sections. Gypsum ore deposit has massive , and/or laminated with clay interbedded, tabular It shows that sometimes selenite type bedding in lower part of deposit. Gypsum anhydrate thickness is 100 meter according to literature surveying but drilling results shows more than 200 meter thickness. According to observed karstification types and shape and features of karst region will be described (karen/dolin etc) in this paper. Drilling made for gypsum-anhydrate boundary and reserve calculations without command of karstification resulted wrong reserve calculation. The goal of this paper is describe some typical landforms of gypsum karst in Bala region and discuss the effect of karstification on drilling log interpretation results.

1 GİRİŞ

Kireçtaşlarında meydana gelen karstlaşma süreçleri ve sonuçları son çalışmalarla evaporitlerde daha yaygın olduğu görülmektedir. (Klimschouke vd 2003.)

Jips-Anhidrit mineral çözünmesi kalsite göre 100 misli daha fazladır. Dolayısı ile evaporitik jips-anhidrit çözünmesi kireçtaşı karstlaşması arazi şekilleri gibi benzerlikler gösterirler. Bunlar dolin, karren, polye, çözünme bacaları dolgulu çatlaklar, diapirik anhidrit domları çok kıvrımlı – kırıklı yapılar içinde bindirme ve sürüklenme yüzey şekilleridir.(Ford & Williams, 1989)

Bu bildiriye, Bala–Aşıkoğlu bölgesi jips karstlarının tipleri ve bunların rezerve yönelik sondajlar ve açık ocak işletmesine etkileri incelenmektedir (Şekil-1).

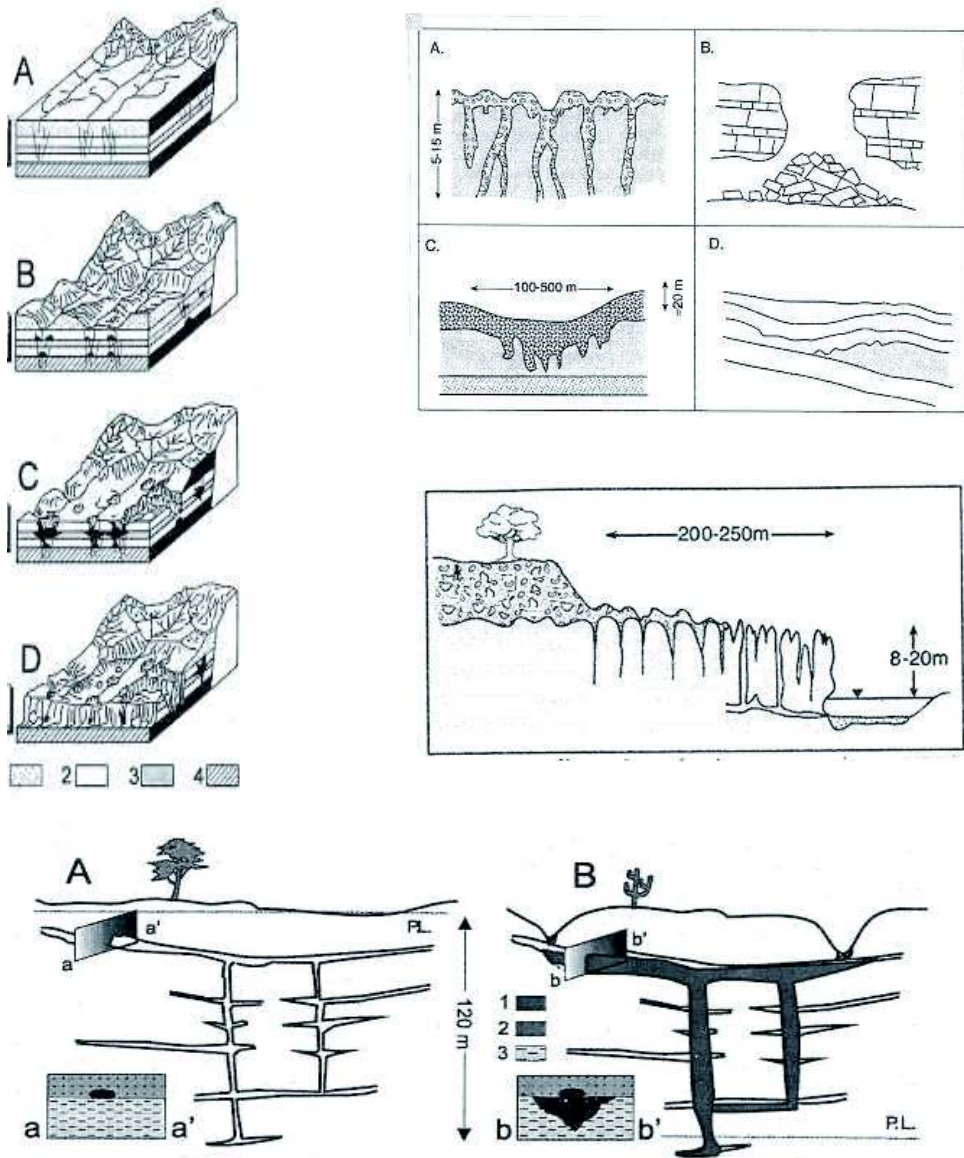
Dolinler, kapalı daireden eliptike kadar değişen şekillerde çöküntüler olup çapları birkaç metreden birkaç kilometreye ve derinlikleri ise metre mertebesinde yüzlerce metreye ulaşabilir. Dolinler karstlaşma özelliklerine ve büyüklüklerine göre;

- a) Düzensiz tarak dişli(Suffusion) dolin (1-5m) dayk veya damar tipli
- b) Çözünme dolini (100 - 500 m)
- c) Çökme dolini
- d) Çökme havzalı dolin olarak sınıflandırılmaktadır.

A) Yüzey Dolinleri;evaporitlerin hızlı bir şekilde çözünmesi sonucunda oluşmuş olup, yüzeyi çamur, kil ve çözünmeyen materyaller ile kaplanmıştır. Derinliği 1-15 metre arasında değişmekte, çözelti boşluğu daha çok silt, kil ve çözünmeyen karbonat kırıntıları içerirler.

B) Çökme dolinleri, evaporitik ortamda çözünme ile oluşan yeraltında meydana gelen boşlukların çökmesi ile oluşurlar. Oluşan mağaranın çökmesi ile birlikte tavan taşlarının parçaları kil, çamur ve silt dolgusu içerirler. Çökme dolin kenar duvarlarında genelde bir kenar daha dikçedir.

C) Çözünme dolinleri önceki dolin şekillerini de içermekle beraber çok geniş yayvan çanak şeklinde olup, boyutları 100-500 m derinlikleri ise 20 metreden fazla olabilmektedir (Ford,D.C. 1998). Üst kısımlar toprak veya gevşek kalın sedimanlarla kaplıdır. Karstlaşma sonucu oluşan morfolojik dolin yapıları Şekil-1’de verilmiştir.



Şekil 1. Kaynakçalarda belirtilen bazı karst yapılaşması (Calaforra J.M., Pulido-Bosch 2003)

2 BÖLGENİN JEOLJİSİ

Bölgesel çaplı ilk çalışma Chaput, E. (1936) tarafından yapılmış, bunu takiben Parejas, E. (1941) Baykal,F. (1943) Erol,O.(1954) , Altınar,D. (1974) , Arıkan,Y. (1975), Akçay ve diğerleri (2008), Şahbaz, A.(1983), Koçyiğit ve diğerleri (2010) bölgenin tektonik ve stratigrafisi konusunda çalışmışlardır. Bu çalışmalara göre tektonik yapı Şekil -2’de verilmektedir.

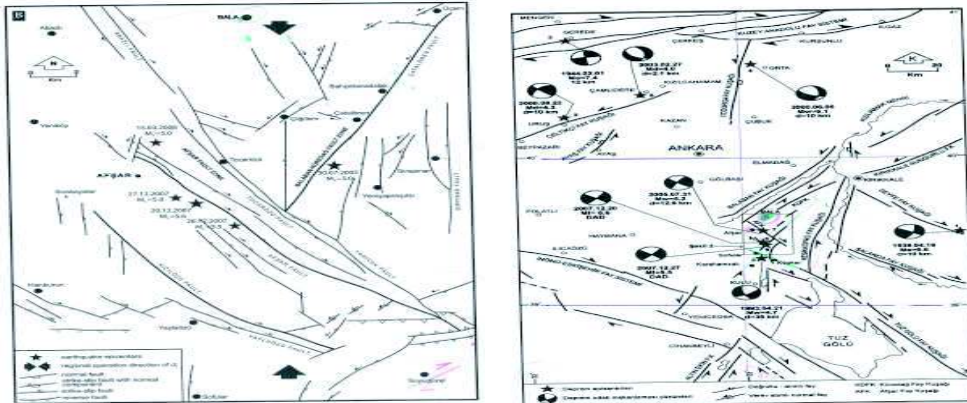
2.1 Yapısal Jeoloji ve Karstlaşma

Bu yöredeki alçıtaşı yatakları tektonik etkilerin oldukça yoğun olduğu Tuz Gölü Havzasında yer almaktadır. Ulukışla Havzasının kuzey uzantısındaki Tuz Gölü Havzasını, doğudan Kırşehir masifi kuzeyden Ankara yükselimi ve batıdan Sivrihisar Masifi çevrelemektedir. Bölgesel boyutta NNW-SSE yönlü sıkışma gerilmelerinin etkisi altında kalmış olan bu sahada NE-SW doğrultulu kıvrımlar yoğun olarak gelişmiştir. Bu kıvrımlı yapıları oluşturan tabakaların doğrultuları, kıvrımın türüne bağlı olarak değişmekle birlikte

NE-SW dir. Eğim yönleri NW-SE olan kıvrım kanatlarının eğim açıları yer yer yüksek olup, normal ve devrik konumda tabakalar bulunmaktadır (Şahbaz,A., 1983).

Yaklaşık birbirine paralel olası NE-SW doğrultulu bir senklinal ile bir devrik antiklinal belirlenmiştir. Bu kıvrımların devamlılıkları örtü kayaları nedeniyle kuzeydoğuya doğru izlenmemektedir. Ancak jips fasiyesi altında yer alan konglomera-kumtaşı-kiltaşı fasiyesinin, bu kesimde görülmesine bağlı olarak devrik antiklinalin kuzeydoğuya doğru devam ettiği düşünülmektedir. Koçyiğit ve diğerleri (2010) çalışmalarında kuzeyde yer alan Acısu Çayı boyunca yer alan yanal atımlı doğrultu fayı muhtemelen inceleme alanından geçmektedir (Şekil-2).

Jips anhidritli birimin yaşı araştırmacılar tarafından üst Eosen-Oligosen olarak verilirken bazı araştırmacılar bunun Oligosen-Miyosen yaşı olarak değerlendirilmektedirler.



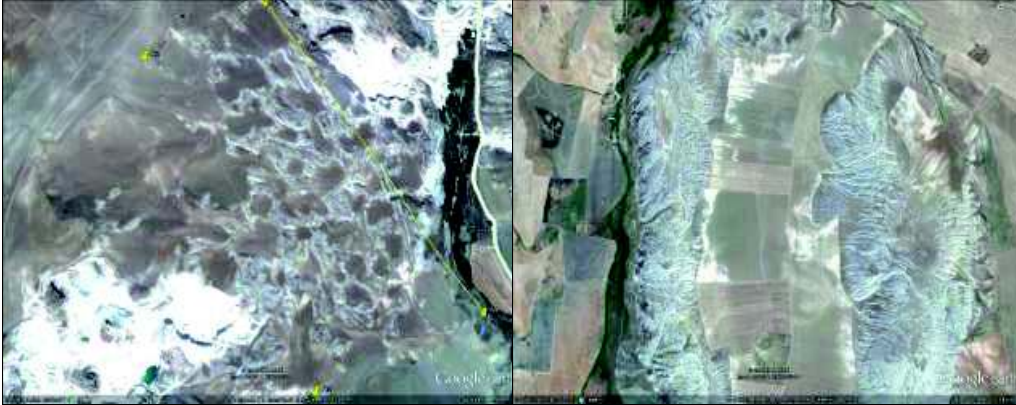
Şekil 2. Çalışma alanı yapısal jeolojisi Koçyiğit ve diğerleri (2010)

Ankara bölgesini etkileyen önemli, deprem odak mekanizması çözüm diyagramlarını ve deprem kaynaklarını gösteren bu şekilde karstlaşma ile ilişkisi çoğunlukla arazide gözlenmiştir.

2.2 İncelenen Alanın Karst Yapıları ve Morfolojisi

Aşıkoğlu jips karstları Bala (Ankara) kuzey-kuzeydoğu doğrultusunda 3 km uzaklıktadır. Sahada birçok karstlaşma tipi dolinler ile diapirik lokal (jips-anhidrit) alçıtaşı domları yer almaktadır. Genelde karstlaşmalar fay ve çatlak sistemleriyle birlikte bindirme ve sürüklenme zonlarında sıkça görülmektedir (Şekil-3). Yaklaşık 0,45 km² bir sahada dolin boyutları 41m x 48m ile 133m x 82 boyutlarında 51 adet dolin saptanmıştır.

Dolinlerin derinlikleri ise 3-16 metre olarak değişmektedir. Alçıtaşı yatağı ise masif ve/veya tabakalı olup, kendi içerisinde sünümlü materyal olarak tektonik kuvvetler sonucu katlanmalar, devrilmeler, yapraklanmalar ve sürüklenmeler göstermektedir. Bu yapılarla birlikte, tabakalanmalar çatlak ve faylar sonucu karstlaşmanın gelişiminde etken rol oynamıştır. Tabakalanma (süreksizlikler) ve zayıf düzlemler boyunca gelişen karstlaşmaya sondaj karotlarında da rastlanmaktadır (Şekil-4). Yüzeysel suları ile çatlaklardan başlayan çözünme tıpkı bir kuyudan değişik yönlerden açılan galeriler gibi bir yapı meydana getirmektedir (Şekil-1, 5 ve 6).



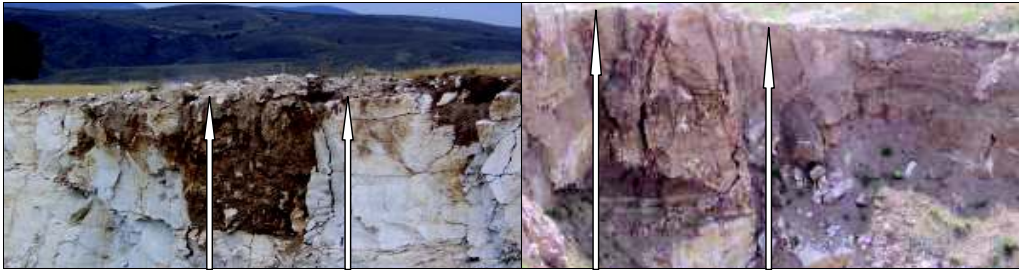
Şekil 3. Bala (Ankara) yöresi karstlaşma sonucu oluşan eliptik-oval ve kanal tipi dolinlerin (lapy) uydu görüntüleri



Şekil 4. Yapılan sondajlarda görülen karstlaşmalardan bir örnek



Şekil 5. Kazan ve düzensiz-dik damarlı dolinler (Bala/Ankara)



Şekil 6. Kazan tipi dolinleşme (Bala/Ankara) Şekil 7. Kördamar tipi ve çökme dolinleşme (Bala/Ankara)



Şekil 8. Kanal-Tünel tipli dolinleşme (Bala/Ankara)



Şekil 9. Faylanma ve bindirmeler sonucu oluşan Akma tipi dolinleşme (Bala/Ankara)

3 KARST YAPILARININ REZERV SONDAJ ÇALIŞMALARINA ETKİSİ

Alçıtaşı rezervine yönelik jeolojik, jeofizik çalışmalar sonucuna göre sondajlı çalışmalara karar verilmiş. Amaç anhidrit-jips sınırını belirlemek ve dolin derinliklerini saptamak ve buna bağlı olarak örtü kazısının miktarını hesaplamak.

Karot tanımlamalarında en büyük hata dolinleşmeler dikkate alınmaması sonucu

örtü-kazı miktarında önemli miktarda artışlar olmuştur. Şekil-8’de verilen karot resimleri ve loglardan da görüleceği gibi dolinler tanımlanmamış sadece litolojik isim verilmiştir Buda sondaj etki alanlarını etkilemekte buna bağlı olarak da hammadde-kazı miktarları değişmektedir.

Alçıtaşı madenciliği ve/veya sondajcılığında karstlaşma sonucu örtülü dolinlere, küçük mağaralara karstlaşma kör damarlarına sıkça rastlamak mümkündür. Bölgenin karstlaşma-

tektonik–stratigrafik değerlendirilmesi içinde bunların kör yeraltı damar–mağara ve/veya arakesme kararı doğrudan rezerv miktarını etkiler (Şekil-7, 8, 9 ve 10)

Burada verilen şekillerden sondaj loglarının nasıl etkilendiği işaretlenmiş oklarla gösterilmektedir.

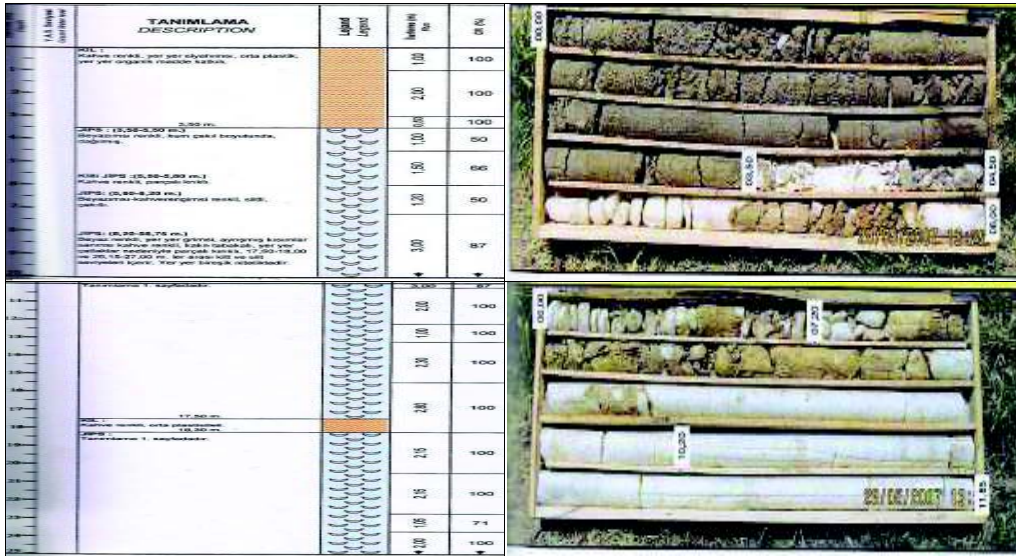
Bu çalışmalar esnasında eski ocaklarda on yıl su içinde kalan anhidritin jipse dönüşmesi 2 milimetre saptanmıştır.

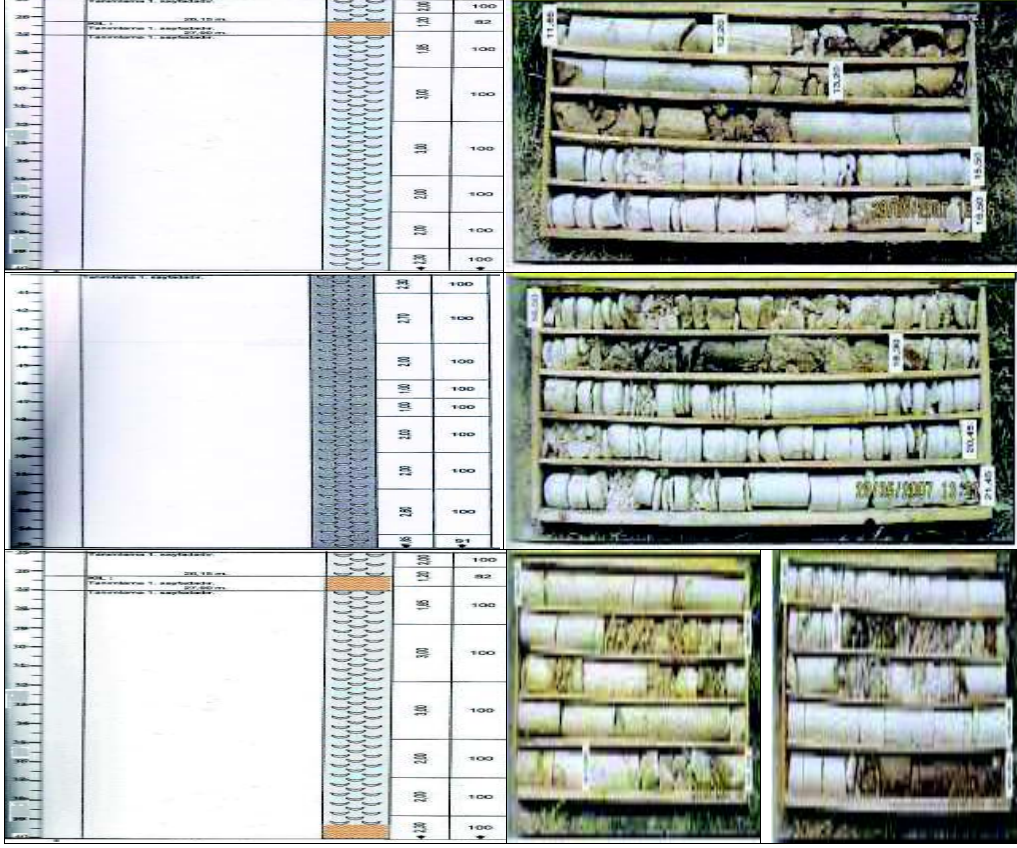


Şekil 10. Çökme Tipi dolinleşme (Bala/Ankara)

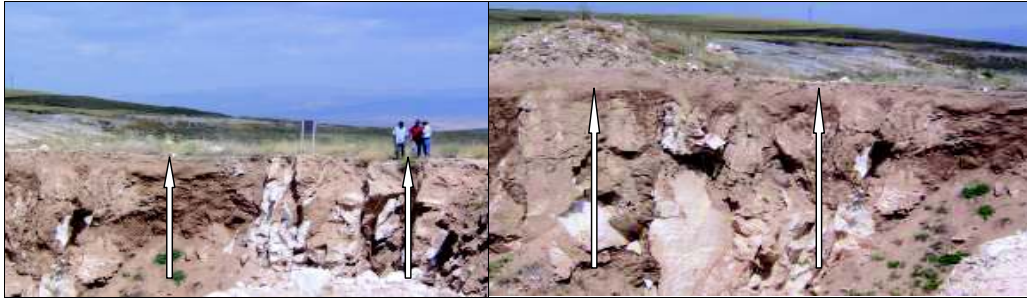
Çalışmada özellikle karstlaşma özelliği gösteren evaporitlerin rezerve yönelik sondaj çalışmaları ve yapısal jeolojiye bağlı karstlaşma şekilleri hammadde üretimini doğrudan etkilemekte olduğu görülmüştür. Bu nedenle ocak üretim planlaması öncesi

karst yapıları haritalanarak üretim basamakları düzenlenmelidir. Diğer yünden karst yapılarına bağlı dolin topraklarının alınması ayrıca planlanmalıdır. Bu nedenle dolin kazısı yapabilecek yardımcı ekipmanlar temin edilmelidir.





Şekil 11. Sondajın log tanımı ve karotları



Şekil 12. Dolinleşme ve sondaj karotlarının değerlendirilmesinde gözlenen yapılaşmalar

4 SONUÇLAR

Evaporitik kayaların çözünme ve karstlaşması karbonatlı kayalara göre 10-100 misli daha fazladır. Bu durumda

evaporitlerde dolin oluşumlarına sıkça rastlamak mümkündür. Özellikle açık ocak madenciliğinde topografik yüzeylerde bu yapıların bulunduğu yerlerde seçimli kazı yapılması hammadde kalitesi açısından

zorunluluk doğurmaktadır. Diğer taraftan baca ve-veya damar saçınımlı dolinli kısımlarının kazısı seçimli yapılarak hammadde kirlenmesi ve-veya seyrelmesi önlenmelidir. Karstlaşma bölgelerinde yapılacak sondajlı araştırmalarda morfolojik dolin yapıları ile birlikte yapısal jeoloji elemanları [faylar,bindirme, kıvrımlar] ve paleodere yapıları göz önüne alınarak sondaj log değerlendirme ve tanımlaması yapılması önerilir. Önemli bir konu da son zamanlarda TOKİ tarafından yapılan konutların alçıtaşı yatağı üzerinde yer alması ve karstlaşmaların jeolojik etüdü yapılmadan yapılması yanlışından dönülmesi temenni edilir.

Teşekkür: Bu araştırma da yardımlarından dolayı; Maden Y. Müh. Refik APUL, Fırat ATALAY, Hakan OKUMUŞOĞLU ve MADİNSAN A.Ş. Genel Müdürü Hamdi KOZACI'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR:

Akçay, A., Dönmez M., Kara ve Yergök, A., Esentürk K. (2008)1/100000 ölçekli Kırşehir J30 paftası M.T.A Yayınları No.91

Altıner,D.,(1974) Kamışlıbala-Keklicecek sahasının jeolojisi (Bala-Ankara) ODTÜ Master Tezi

Arıkan,Y.,(1975) Tuz Gölü Havzasının jeolojisi Petrol İmkanları

Baykal,F.,(1943) Kırıkkale, Kalecik, Keskin, Bala mıntikasındaki Jeolojik Edüdler M.T.A. Rapor No:1448 yayımlanmıştır.

Calaforra J.M., Pulido-Bosch (2003) Evolution of the gypsum karst of Sorbas (SE Spain) Geomorphology, 50, 173-180

Dirik, K., ve Erol, O.,(2003) Tuz Gölü ve Civarının tektonomorfolojik evrimi, Orta Anadolu-Türkiye. TPJD Özel Sayı, 27-46

Chaput (1936) Türkiye'de Jeolojik ve Jeomorfolojik Tetkik Sahaları. İ.Ü. Yayınları. No. 324 326 S

Ford,D.C., (1997) Principal Features of Evarporite Karst in Canada Carbonates &Evaporites v. 12 p.15-23.

Erol,O.,(1954) Ankara Civarının Jeolojisi Hakkında Rapor M.T.A. Rapor No:2491

Klimchouk,A.B., (1996) Gypsum Karst of the World: Journal of Speleology v.25

Koçyiğit,A.,(2010)Ankara'nın Depremselliği ve 2005-2007 Aışar (Bala-Ankara) Depremin Kaynağı , MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni Sayfa 1/7.

Kulaksız S 2011 Madinsan A.Ş. Ruhsat Alanlarının Arama Faaliyet Raporları Bala/Ankara 15s

Quinland ,J.K.,(1978) Type's of Karst with Emphasis on cover beds in their classification and development Ph. D. Thesis, University of Texas at Austin U.S.A.

Parejas, E.,(1941) Tükiye Arzını Tektoniği İstanbul Fen Fakültesi Monograrafiler Sayı 1. 106 s

Şahbaz, A.,(1983) Paşadağ Aladağ (Tuz Gölü kuzeyi) yöresi paleojen tortul istifinin jeolojik ve sedimanteolojik incelenmesi. H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.(190s.)

Kalsit Mineralinin SMA Karışımlarda Dolgu Malzemesi Olarak Kullanımı

The Use of Mineral Calcite in SMA Mixture as Filling Material

İ.Sönmez, S.A.Yıldırım
İSFALT A.Ş., Üsküdar, İstanbul

ÖZET Taş Mastik Asfalt (SMA) ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollarda kullanılmak üzere tercih edilen bir asfalt kaplama olarak, uzun yıllardan beri pek çok Avrupa ülkesinde kullanılmaktadır. Taş mastik asfaltlar, geleneksel asfalt kaplamalardan %20 ila %40 oranında daha uzun servis ömrüne sahiptirler ve geleneksel asfaltlar için gerekli olan bakım onarımdan farklı olarak herhangi bir özel bakım veya onarıma ihtiyaç duymazlar. SMA karışımlar, yüksek oranda modifiye bitüm içeren kesikli gradasyona sahip olup, %70-80 kaba agrega, %20-30 ince agrega ve % 6-7 oranında modifiye bitümden oluşmaktadır. SMA karışımlarının sahip olduğu kaba agrega iskeleti, agregalar arasında daha fazla boşluk oluşmasına neden olmaktadır. Agrega taneleri arasındaki bu boşluk ince agrega, modifiye bitüm, bitümün akmasını engelleyen fiber ve dolgu malzemesinden (filler) oluşan mastik harç ile doldurulmaktadır.

Bu çalışmada, kalsit mineralinin SMA karışımlar içinde dolgu malzemesi olarak kullanımı incelenmiştir. Bu amaçla, %5 oranında kalsit minerali içeren SMA karışımı hazırlanmış ve asfalt karışımının performans özellikleri tespit edilmiştir.

ABSTRACT Stone Mastic Asphalt (SMA) has been used in numerous European countries for many years as the preferred asphalt paving for use on roads with heavy vehicle traffic intensity. SMA has 20 to 40 percent longer service life than conventional asphalt pavement and does not require any special care or maintenance apart from that required for conventional asphalt. SMA is a gap-graded mixture with a high modified binder content and consists of 70–80% coarse aggregate, 20–30% fine aggregate and 6–7% modified bitumen. The coarse aggregate skeleton in SMA generates a higher void content between aggregates. The voids between aggregate particles are filled with a mastic mortar of fine aggregate, modified bitumen, fiber which is added to prevent drainage of binder and filling material.

In this study, the use of mineral calcite was investigated as filling material in SMA mixture. For this purpose, SMA mixture contains 5% calcite mineral was prepared and the performance properties of asphalt mixture were determined.

1 GİRİŞ

Taş Mastik Asfalt olarak da isimlendirilen SMA karışımlar, 1960 yılında Almanya'da çivili kar lastiklerinin yol yüzeyine verdikleri hasarlara karşı koymak üzere geliştirilmiştir. Özellikle ağır taşıt trafiğinde kalıcı deformasyonlara karşı yüksek direnç gösterdiğinden birçok Avrupa ülkesinde ve Amerika'da giderek artan oranlarda kullanılmaktadır. Ülkemizde de son yıllarda önemli yollarda SMA kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır.

SMA, geleneksel asfalt karışımlara göre bağlayıcısı daha fazla, karışım içerisinde kaba agrega oranı daha yüksek, dolgu malzemesi ve fiberden oluşan bir asfalt çeşididir. Tipik SMA bileşimi %70-80 oranında 5-12 mm'lik agrega, %20-30 oranında 0-5mm'lik agrega, %5-10 oranında 100 mikron altı dolgu malzemesi (filler), %0,3 fiber ve % 6-7 oranında modifiye bitümden oluşmaktadır.

Asfalt karışımlarda, filler olarak isimlendirilen dolgu malzemesinin belirli bir miktarda olması, arzu edilen karışım özelliklerini ve performansı sağlamak için şarttır (Ahmetzade,2007). Geleneksel asfaltlarda yüzey tabakalarında %4-10 oranında dolgu malzemesi istenirken SMA karışımlarda % 8-14 oranında dolgu malzemesine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolgu malzemesi olarak kalker, portland çimentosu, sönmüş kireç, siyah karbon ve uçucu kül gibi malzemeler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak tercih edilen ve %5 oranında kullanılan mikronize kalsit ile SMA karışımı içinde ince malzeme oranı ayarlanmış, boşluk miktarı azaltılmış, kalıcı deformasyon olarak nitelenen tekerlek izine ve su hasarlarına karşı mukavemet test edilmiştir.

2 KULLANILAN MALZEMELER VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada, agrega, kalsit, bitüm, bitüm modifiyeri (SBS) ve selülozik fiber malzemesi belirli oranlarda kullanılmıştır. Her bir katkı, karışım içinde üstlendiği farklı rolleriyle, Stone Mastik Asfalt (SMA) karışımının teknik özelliklerinin şartname sınırları içinde kalmasını sağlamıştır. SMA karışımlarda dolgu malzemesi olarak kullanılacak olan kalsitin etkisini araştırmak için iki farklı SMA dizaynı hazırlanmıştır.

2.1 Kalsit

Çalışmada dolgu malzemesi olarak kullanılan kalsit, Marmara Adası kaynaklı olup Esen Mikronize/Tuzla tesislerinden, temin edilmiştir.

Kullanılan kalsit mineralinin kimyasal, fiziksel ve genel özellikleri Çizelge 1, Çizelge 2 ve Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 1. Kimyasal Özellikler

CaCO ₃	> 98 %
Mg CO ₃	< 2
%Fe ₂ O ₃	< 0,02 %
Si O ₂	< 0,06 %
HCl' de çözünmeyen	< 0,5 %

Çizelge 2. Fiziksel Özellikler

Refraktif Index	< 2 %
Mohs Sertlik	3

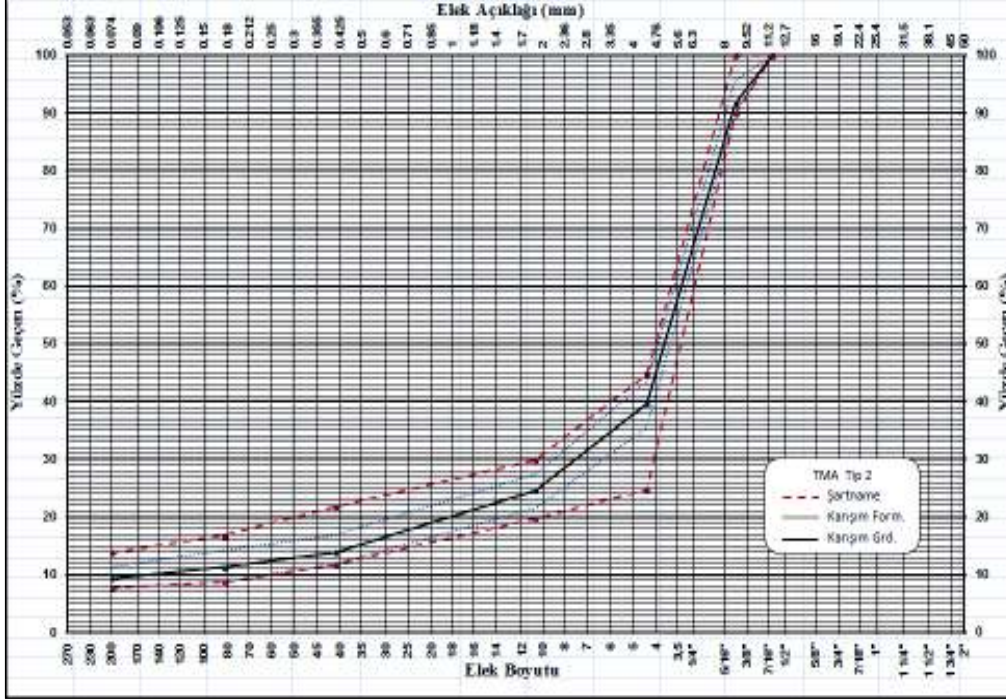
Çizelge 3. Genel Özellikler

45 mikron elek bakiyesi	% 38-42
En büyük tane (d 97%)	145.00-160 µm
Ortalama tane büyüklüğü (d50%)	33.0-40.0 µm
2 Mikron altı	% 7,5 - 13
Beyazlık (Elrepho 450X)	% 96- 97
Yağ emmesi	10,02gr /100 gr
Dop emmesi	12,25 gr/100 gr
Nem	< 0,09
Dökme yoğunluğu	1,00-1,10 gr/ml
Ph değeri	8,00- 10.00

2.2 Agrega

SMA karışımlarında 5-12 mm iri agrega olarak kullanılan ve karışım içerisindeki oranı %65 olan bazalt agrega, İstanbul'a yaklaşık olarak 125 km mesafede bulunan, Çorlu - Karatepe bölgesi taş ocaklarından temin edilmiştir. Karışımlarda % 30 oranında kullanılan 0-5 mm ince agregalar, İstanbul - Cebeci bölgesinde yer alan kalker taş ocaklarından alınmıştır.

SMA karışımlarında kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 4 ve Çizelge 5'te, agrega gradasyonları Çizelge 6'da, agrega karışım gradasyonu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Agrega+Kalsit Karışım Gradasyonu

Çizelge 4. Bazalt Agrega Fiziksel Özellikleri

Deney Adı	Standart	Sonuç
Los Angeles Aşınma Kaybı %	TS EN 1097-2	12
Yassılık %	TS EN 933-3	16,1
Cılanma %	TS EN 1097-8	57,5
Su Absorbsiyonu %	TS EN 1097-6	0,97
Tane Yoğunluğu gr/cm ³	TS EN 1097-6	2,891
Donma Kaybı % (MgSO ₄ ile)	TS EN 1367-2	2,8

Çizelge 5. Kalker Agrega Fiziksel Özellikleri

Deney Adı	Standart	Sonuç
Su Absorbsiyonu %	TS EN 1097-6	1,03
Tane Yoğunluğu gr/cm ³	TS EN 1097-6	2,650
Metilen Mavisini %	TS EN 933-9	0,7

Çizelge 6. Agrega Gradasyonları

Elek Açıklığı, mm	5-12mm Bazalt % Geçen	0-5mm Kalker % Geçen
12,7	100	100
9,5	87,4	100
4,75	8,6	97,2
2,0	2,0	61,4
0,425	1,0	28,1
0,177	1,0	19,6
0,075	0,6	14,2

2.3 Bitüm (B50/70)

Asfalt karışımların temel hammaddesi olan ve karışımlarda yaklaşık olarak % 5-6 oranında bağlayıcı olarak kullanılan bitüm, TÜPRAŞ İzmit rafinerisinden temin edilmiştir.

Bitüm, temel olarak hidrokarbonlar ve türevlerini içeren, trikloretilen içerisinde çözünebilir, uçucu olmayan ve ısıtıldığında gittikçe yumuşayan viskoz bir maddedir (Whiteoak, 2004).

Çalışmada, bitüm modifiye edilmeden önce ve içine katkı maddesi ilave edilerek modifiye edildikten sonra ayrı ayrı olmak üzere test edilmiş ve ilgili şartnamelerin sınır değerleriyle karşılaştırılmıştır. Geleneksel bitümün deney sonuçları Çizelge 7’de, modifiye bitümün deney sonuçları Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 7. Bitümün Fiziksel Özellikleri

Deney Adı	Standart	Sonuç
Penetrasyon (25°C) 0,1mm	TS EN 1426	52,0
Yumuşama Noktası °C	TS EN 1427	49,6
Parlama Noktası °C	TS EN ISO2592	330
Özgül Ağırlık	TS EN 15326	1,020
İnce Film Halinde Isıtma		
-Kütle Değişimi %	TS EN 12607-2	0,03
-Yumuşama Nok.Yük.°C		3,4
-Kalıcı Penetrasyon %		65,4

Çizelge 8. Modifiye Bitümün Fiziksel Özellikleri

Deney Adı	Standart	Sonuç
Penetrasyon (25°C) 0,1mm	TS EN 1426	43,2
Yumuşama Noktası °C	TS EN 1427	82
Elastik Geri dönme %	TS EN 13398	95,0
Kuvvet ölçümlü uzama j/cm ²	TS EN 13589	8,79
DSR (G* $\sin \delta > 1kPa$) °C	TS EN 14770	76
Dönel İnce Film (RTFOT)		
-Kütle Değişimi %	TS EN 12607-1	0,06
-Yumuşama Nok.Yük.°C		4,2
-Kalıcı Penetrasyon %		70

2.4 Stiren Bütadien Stiren (SBS)

Bitüm, asfalt karışımların ağırlıkça % 5-6’sı olmasına rağmen asfalt kaplamaların performansına en önemli katkıyı sağlayan kısımdır. Bitümlü karışımların performansı, önemli ölçüde bitümün reolojik özelliklerinden etkilenmektedir. Standart bitümler yoğun trafik ve ağır iklim şartlarında görevlerini yerine getirirken yapıları gereği zorlanırlar. Yazın asfalt kaplamalarda sıcaklığın 60°C’lere çıktığı,

kışın sıfırın altında °C’lere indiği durumlarda farklı özellikler gösteren bitüm, ya aşırı yumuşama sonucunda kalıcı deformasyonlara (tekerlek izi oluşumu) ya da sertleşme nedeniyle çatlamalara neden olur. Ayrıca, yollarda artan trafik yükü ile oluşan gerilme, sürtünme ve yorulmalar yollardaki bozulmaları hızlandırır. İşte bu sorunları azaltmak için bitümün içine çeşitli katkıları ilave edilerek yol performansının artırılması yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Bu katkılardan en fazla kullanılanı SBS polimerleridir.

SBS, Stiren-Bütadien-Stiren blok kopolimerinin kısa adlandırılmasıdır. Shell tarafından 1960’larda bulunan petrokimya türevi bu sentetik kauçuk, ayakkabı tabanı, su yalıtım membranı, polimer, bitüm modifikasyonu ve hot-melt yapıştırıcılar gibi endüstriyel alanlarda hammadde olarak kullanılmaktadır. SBS, asfalt yollarda da 1985’den bu yana kullanılmaktadır.

2.5 Selülozik Fiber

Fiber, asfaltı stabilize eden, doğada yenilenen ana maddelerle hazırlanan bir asfalt katkı malzemesidir. SMA gibi kesik gradasyonlu ve yüksek bitüm içeriği olan asfalt karışımlarda kullanılmaktadır. Fiberler, SMA karışım içinde yüksek orandaki bitümün, agrega iskeletinden süzülmesini engellemekte ve böylece karışımın homojenliğini sağlamaktadır.

Çalışmada, fiber olarak JRS Firmasının Viatop ticari isimli selüloz esaslı ürünü kullanılmıştır.

2.6 SMA Dizayn Çalışması

Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak kullanılan kalsitin karışım içindeki önemini belirlemek için ilk olarak % 5 kalsit ilaveli, sonra kalsit ilavesiz SMA karışımları hazırlanmıştır (Şek.2). Çizelge 9’da verilen Karayolları Teknik Şartnamesi SMA Tip2 dizayn kriterleri esas alınarak Marshall Metoduna göre hazırlanan dizaynların karışım gradasyonu, şartname limitleri ve dizayn sonuçları Çizelge 10 ve Çizelge 11’de verilmiştir. % 5 kalsit ilavesi ile hazırlanan

dizaynda bulunan % 6,40 optimum bitüm miktarı, kalsitin etkisini doğru değerlendirebilmek için diğer tasarımda da aynı oranda kullanılmıştır.

Çizelge 9. SMA Tip2 Dizayn Kriterleri

Özellik	Şartname Limiti
Darbe sayısı	50
Hava Boşluğu %	2-4
Agregalar arası boşluk % min	17
Tekerlek izinde oturma % maks	6
Elyaf miktarı %	0,3-1,5
Schelenberg bitüm süzülme % maks.	0,3

Çizelge 10. SMA Tip2 Dizayn Gradasyonları

Elek Açıklığı mm	Dizayn gradasyonu % 5 Kalsitli	Karışım gradasyonu Kalsitsiz	Şartname limitleri
12,7	100	100	100
9,5	91,8	91,8	90-100
4,75	39,7	39,6	25-45
2,0	24,7	22,8	20-30
0,42	14,1	10,5	12-22
0,177	11,5	7,5	9-17
0,075	9,6	6,4	8-14



Şekil 2. SMA Karışımı

Çizelge 11. Marshall Dizayn Sonuçları

Dizayn değerleri	Kalsit İlavessiz	% 5 Kalsit İlaveli
Optimum bitüm %	6,40	6,40
Pratik yoğunluk gr/cm ³	2,405	2,475
Boşluk %	6,0	3,0
Agregalar arası boşluk %	19,2	17,0
Schelenberg bitüm süzülme %	0,08	0,07
Stabilite kg	873	1180

2.7 Bitüm Süzülme Deneyi

Süzülme deneyi, SMA karışımlarda yüksek oranda bulunan bitümün süzülerek karışımdan ayrışma eğilimini belirlemek amacıyla yapılır. Yapılan deneysel çalışma ile asfalt karışımın üretim, depolama, nakliye ve yola uygulama işlemlerine ilişkin durumun temsil edilmesi hedeflenmektedir. Süzülme deneyi için, 135°C ± 5°C'de 1000 gr SMA karışımı hazırlanmış, 1000 ml'lik cam behere konularak 0,1gr hassasiyetli terazide tartılmıştır. Üzeri kapalı bir beher içindeki karışım numunesi 170°C sıcaklıktaki etüvde 60 dak (± 1 dak) süre ile bekletildikten sonra etüvden çıkarılmış ve beher boşalmıştır (Şek.3).



Şekil 3. Süzülme Deneyi

Boşaltılan karışım numunesi 0,1 gr hassasiyetinde tartılarak ağırlık kaybı yüzde olarak hesaplanmıştır. Deney sonuçları Çizelge 12'de gösterilmiştir.

Çizelge 12. Bitüm Süzülme deneyi

Özellik	Kalsit İlavesiz	% 5 Kalsit İlaveli
Schelenberg bitüm süzülme %	0,08	0,07

2.8 Suya Hassasiyet Deneyi

Asfalt karışımlarda su etkisi ile meydana gelen temel hasar, soyulma olayıdır. Soyulma genel olarak, sudan dolayı agrega yüzeyi ile bitüm arasındaki yapışma (adezyon) kuvvetinin kaybı olarak tanımlanmaktadır. Tecrübeler, sıcak karışımda yüzeyde herhangi bir soyulma meydana gelmemesine rağmen, karışıma giren suyun bağlayıcının kohezyon kuvvetini zayıflatabileceğini ve karışımın dayanımını düşürebildiğini göstermektedir. Bu nedenle suya hassasiyet kavramı, sudan dolayı sıcak karışımın dayanımının veya diğer özelliklerinin kaybolması anlamına gelmektedir. (Balta, 2004)

Suya hassasiyet deneyi TS EN 12697-12 standardı A prosedürüne göre yapılmıştır. Hazırlanan 6 adet silindirik asfalt numunesinden üç adedi oda sıcaklığında kuru tutulurken diğer üç adedi su içinde kondisyonlanma işlemine tabi tutulmuş ve vakumlama ile suya doyurulmuştur (Şek.4).

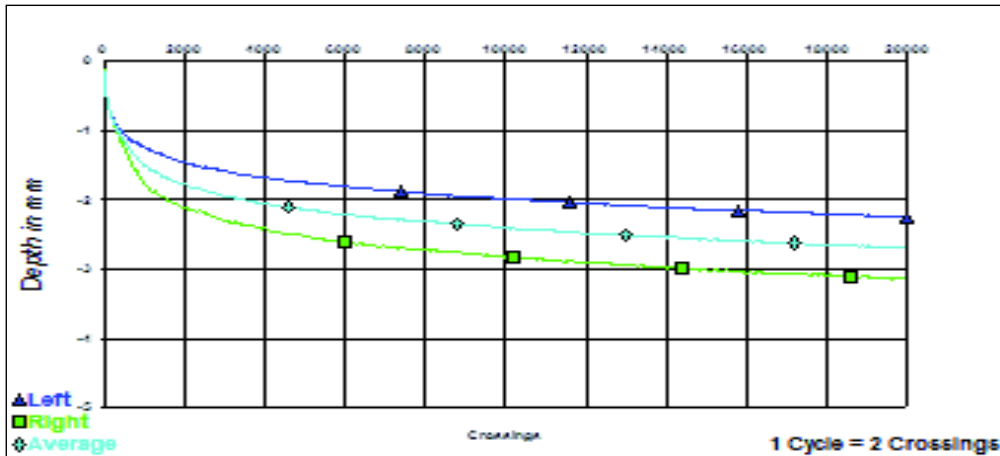


Şekil 4.Suya Hassasiyet Deneyi- Vakumlama

Kondisyonlama işlemi yapıldıktan sonra, TS EN 12697-23 uyarınca, 25°C deney sıcaklığında, iki altkümenin her birinin dolaylı gerilme gücü belirlenmiş, su kondisyonu yapılan altkümenin dolaylı gerilme gücü, kuru altkümenin dolaylı gerilme gücüne oranlanmış ve sonuç Çizelge 13'te yüzde cinsinden verilmiştir.

Çizelge 13. Suya Hassasiyet Deneyi

Özellik	Kalsit İlavesiz	% 5 Kalsit İlaveli	Şartname
Çekme Mukavemeti Oranı %	75,4	83,1	Min.80



Şekil 5. Tekerlek İzi Deneyi, Deformasyon - Geçiş Grafiği

2.9 Tekerlek İzi Deneyi

Tekerlek izi deneyi, yol kaplamalarının dingil yükleri altında meydana gelen kalıcı deformasyonlara karşı direncini belirlemek amacıyla yapılmaktadır.

Bu çalışmada, tekerlek izi deneyi Hamburg model laboratuvar tipi cihaz kullanılarak, TS EN 12697-22 standardına göre yapılmıştır. Hamburg cihazı; asfalt üretimini simüle eden mikser, uygulamayı simüle eden kompaktör ve yolu temsil eden test cihazı olmak üzere üç ünitelerden oluşmaktadır. Bütün test aşamaları bilgisayar yazılımı ile desteklenmektedir. Numuneler üzerinde oluşan tekerlek izi derinlikleri milimetre mertebesinde, cihaza bağlı bilgisayar yardımıyla otomatik olarak kaydedilmekte ve ekrandan da birebir izlenebilmektedir (Şek.5).

Bitümlü karışımların kalıcı deformasyona karşı direnci, 70 kg yük uygulanan bir lastik tekerleğin 60°C sabit sıcaklıkta numuneler üzerinde tekrarlanan geçişleriyle oluşan tekerlek izi derinliği ölçülerek değerlendirilmiştir. Deneyde kullanılmak üzere her bir karışım tipi için, 320x260x50 mm boyutlarında 2'şer adet, toplamda 4 adet numune hazırlanmıştır.



Şekil 6. Tekerlek İzi Deney Cihazı

Hazırlanan numuneler deneye alınmadan önce 48 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir.

Marshall tasarımında tespit edilen %6,40 bitüm içeriğiyle hazırlanan numuneler, test edilmeden önce, deney sıcaklığı olan 60 °C'ye gelmesi için, ısı ayarlı test kabini içinde ayrıca 4 saat süreyle kondisyonlanmıştır. Deney, sağ ve sol tarafta bulunan iki kalıp içerisinde yer alan aynı özellikteki karışım numunelerine uygulanmış ve aynı noktalardan tekerleğin 20000 geçişi sonucu okunan bu iki değer ortalaması RD_{Hava} tekerlek izi derinliği olarak kaydedilmiştir (Şek.6).

Ayrıca, deney grafiğinden havadaki 10^3 yük devri başına tekerlek izi eğimi ve numune kalınlığına göre de tekerlek izi oranı hesaplanmış, sonuçlar Çizelge 14'te verilmiştir.

Çizelge 14. Tekerlek İzi Deney Sonucu

Özellik	Kalsit İlavesiz	% 5 Kalsit İlaveli
WTS_{Hava} Tekerlek İzi Eğimi % (mm/ 1000 devir)	0,06	0,03
RD_{Hava} Tekerlek İzi Derinliği mm	2,69	1,91
PRD_{Hava} Tekerlek İzi Oranı %	6,07	4,40

3 SONUÇLAR

Kalsit mineralinin SMA karışımlarda dolgu malzemesi (filler) olarak kullanımı ve SMA karışımların performansına etkisinin araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Çalışmada kullanılan kalsitin tane boyutu ve gradasyonu ile diğer fiziksel özellikleri şartname kriterlerini sağlamaktadır.
- Kalsit ilavesiz hazırlanan taş mastik asfalt (SMA) karışımının gradasyonu, Karayolu Teknik Şartnamesi kriterlerinin dışındadır. SMA karışımlarda, şartname limitlerini sağlayabilmek ve gradasyonu ayarlayabilmek için, filler olarak da isimlendirilen dolgu malzemesi kullanımı zorunludur.
- SMA karışımlarda belirli miktarda dolgu malzemesi stabilite açısından da

gereklidir. Kalsit olmayan karışımda düşük stabilite okunmuştur.

- Kalsit ilavesiz hazırlanan asfalt karışımında yüksek boşluklar hesaplanmıştır. Bu da karışım içerisine fazla suyun girmesine sebep olmakta ve karışımın suya karşı dayanımını düşürmektedir.
- SMA karışımlarda ilave filler olarak kullanılan kalsit, kalıcı deformasyon olarak nitelendirilen tekerlek izini önemli ölçüde etkilemektedir. Asfalt karışımlarda yüksek filler miktarının problem olduğu bilindiği gibi düşük filler de kalıcı deformasyon açısından sorun teşkil etmektedir. Kalsit ilavesiz hazırlanan karışımda, daha yüksek kalıcı deformasyonlar ölçülmüştür.

KAYNAKLAR

- Ahmetzade, Perviz., Alataş,Taner.,Geçkil T,2007. The Effect Of Carbon Black On The Mechanical Properties Of Asphalt Mixtures, *Journal Of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* cilt 25, sayı 2, (s.179-189).
- Balta, İ, 2004. Bitümlü Sıcak Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Duyarlılığı, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü (s.135-148).
- Karayolu Teknik Şartnamesi, 2006, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara (753 s.).
- TS EN 933-3, 2012 *Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3:Tane Şekli Tayini Yassılık Endeksi*
- TS EN 933-9, 2010 *Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm.9 İnce Malzeme Tayini-Metilen Mavisini Deneyi*
- TS EN 1097-2, 2010 *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm: 2 Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metodlar*
- TS EN 1097-6, 2002 *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini*
- TS EN 1097-8, 2004 *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm:8 Taş Parlatma Değerinin Tayini*
- TS EN 1367-2, 2011 *Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm2: Magnezyum Sülfat Deneyi*
- TS EN 1426, 2008 *Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar İğne Batma Derinliği Tayini*
- TS EN 1427, 2008 *Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-Halka ve Bilye Yöntemi*
- TS EN 12607-1, 2008 *Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-Isı ve Hava Etkisi Altında Sertleşme Direncinin Tayini- Bölüm 1 RTFOT Yöntemi*
- TS EN 12607-2, 2008 *Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-Isı ve Hava Etkisi Altında Sertleşme Direncinin Tayini- Bölüm 2 TFOT Yöntemi*
- TS EN 12697-12, 2009. *Bitümlü Karışımlar- Deney Metodları- Sıcak Karışimli Asfalt İçin-Bölüm 12:Suya Duyarlılığın Tayini.*
- TS EN 12697-22 2008. *Bitümlü Karışımlar-Sıcak Asfalt Karışımlar-Bölüm 22:Tekerlek İzi*
- TS EN 12697-23, 2004. *Bitümlü Karışımlar-Sıcak Asfalt Karışımları İçin Deney Yöntemleri- -Bölüm 23:Bitüm Numunelerinin Gerilme Mukavemetinin Dolaylı Tayini*
- TS EN 13398 2010 *Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar- İşlem Görmüş Bitümlerin Elastikliğinin Tayini*
- TS EN 13589 2009 *Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar- İşlem Görmüş Bitümlerin Çekme Özelliklerinin Düktilometre Metoduyla Tayini*
- TS EN 14770, 2012 *Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Karmaşık Kesme Modülü ve Faz Açısının Tayini- Dinamik Kesme Reometresi*
- TS EN 15326, 2010 *Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar Yoğunluk ve Özgül Kütle Tayini-Piknometre Yöntemi*
- TS EN ISO 2592,2006 *Petrol Ürünleri-Parlama ve Yanma Noktası Tayini-Cleveland Açık Kap Metodu*
- Whiteoak,D.,2004 *Shell Bitüm El Kitabı*, İsfalt, İstanbul (334 s.).

Uçucu Küllerin Maden Dolgularında Kullanım Biçimleri *The Potential Manners of Utilizing Fly Ash in the Mining Fill*

İ. Çavuşoğlu

Gümüşhane Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane

A. O. Yılmaz, M. Çapık

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Bu çalışmada uçucu küllerin madencilikte dolgu uygulamalarında atık veya alternatif/ikame bağlayıcı olarak kullanımları anlatılmıştır. Uçucu küllerin alternatif veya ikame bağlayıcı olarak macun dolgu içerisinde bir takım zararlı kimyasal reaksiyonları önlemelerinden dolayı kullanımları mevcuttur. Atık malzeme olarak da genellikle yeraltı ve yerüstü kömür işletmelerinde dolgu içerisinde kullanılarak bertaraf edilmektedirler. Çalışmada bu tip kullanımlara uygulama ve deneysel çalışmalardan örnekler verilerek detaylı bir biçimde anlatım yapılmıştır.

ABSTRACT In this study, use of fly ashes in the mining backfill applications is explicated as a waste or alternative/replacement binding materials. Fly ash is used as alternative or replacement binding materials by help of preventing a number of harmful chemical reactions in paste fill. And also fly ash is used for disposal as waste material in generally underground and surface coal mine fill applications. This study revealed that a detail explanation of use of those types of fly ash in mining fill by giving examples of applications and experimental studies.

1 GİRİŞ

Madencilikte yeraltı dolgusu atık malzeme, bağlayıcı madde ve su karışımından oluşan bir malzemedir. Atık malzeme olarak yaygın bir şekilde tesis atıkları, santral atıkları (uçucu kül, taban külü), kum, agrega ve atık kayalar kullanılmaktadır. Dolgu içerisinde bağlayıcı madde olarak ise genellikle portland çimentolar, bağlayıcı özelliği bulunan kalsiyum sülfat malzemeleri ve doğal veya yapay puzolanlar kullanılmaktadır. Yapay puzolanların başında ise uçucu küller gelmektedir (Çavuşoğlu vd., 2011; Abbasy, 2009; De Souza vd., 2003; Benzaazoua vd., 2002; Archibald vd., 1999).

Uçucu küller, termik santrallere beslenen pülverize hale getirilmiş düşük kalorili linyit kömürünün yanması sonucunda yanma kazanlarından dışarı çıkan gazlar tarafından taşınan ve atmosfere çıkmadan önce elektrostatik toplayıcılar tarafından toplanan çok ince tanelerdir (Aruntaş, 2006; Anon, 2003). Puzolan ise kendi başına bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan ancak öğütülmüş halde, normal sıcaklıkta ve rutubetli ortamlarda kalsiyum hidroksitle (sönmüş kireç) reaksiyona girip ilave bağlayıcı bileşikler meydana getiren ince toz halindeki silisli veya silisli ve alüminli malzemelere denir. Bu özellikleri taşıyan maddelere ise puzolan malzemeler denir (Gündeşli, 2008; Vasilev, vd., 2005; Iyer ve

Scott, 2001). Uçucu küller puzolanik özellik gösteren atık maddelerdir ve genellikle inşaat ve karayolları mühendislik uygulamalarının içerdiği; portland çimentolu betonlar, çimento imali, toprak veya yol stabilizasyonlarında, akışkan dolgular, zeminler ve yapısal dolgu gibi alanlarda kullanılmaktadır (Anon, 2003). Bu kullanımlarının dışında özellikle inşaat ve madencilik alanında dolgu malzemesi olarak kullanımında da son yıllarda artış görülmektedir (Çavuşoğlu, 2008; Anon, 2003).

Kömürün termik santrallerde elektrik üretmek amaçlı yanmaya başladığı 1920'li yıllardan beri uçucu küllerin üretimi her yıl artarak devam etmektedir. Son yayınlanan Blissett ve Rowson (2012) ve Ahmaruzzaman (2010) kaynaklara göre dünyada yıllık yaklaşık 600 milyon ton uçucu kül üretimi gerçekleşmektedir. Her yıl artan bu atıkların yeniden kullanım miktarları ise %25'ler civarında kalmaktadır. Bu kullanım miktarlarının en önemli kısmını ise inşaat sektörü oluşturmaktadır. Kullanılmayan atık uçucu kül miktarının boyutu ise oldukça yüksektir.

Santrallerde kömürün yakılmasıyla birlikte kömürde bulunan ve kirliliğe neden olma özelliğine sahip bir takım toksik elementler, cüruf, kül ve gaz şeklinde açığa çıkan atıklara geçer (Baba, 2001). Herhangi bir alanda yeniden değerlendirilmeyen küller santral yakınlarında bertaraf edilmek üzere biriktirilir ve bünyelerindeki toksik içerikli maddeler hava, su ve toprağa kadar ulaşması sağlanır ve dolayısıyla çevre kirliliğine sebep olunur (Envis, 2007). Bundan dolayıdır ki küllerin uygun biçimde bertaraf edilmeleri veya endüstriyel alanda yeniden kullanılmaları çevresel açıdan zorunlu hale gelmektedir. Bu sebeple küllerin inşaat sektörü dışında farklı alanlarda da kullanımına yönelik çalışmalar artırılmalıdır. Bunlardan bir tanesi de madencilik alanıdır.

Küllerin madencilik alanında yeraltı dolgusu içerisinde kullanımları mevcuttur. Uçucu küllerin yeraltı dolgusunda puzolanik özelliklerinden dolayı hem bağlayıcı malzemelere alternatif veya ikame olarak hem de atık malzeme sınıfında

kullanılmaktadır. Küllerin büyük bir çoğunluğunun oluşum kaynağı kömür olduğu için genellikle kömür ocaklarında kullanılmaları mümkün olmaktadır. Atık malzeme olarak yeraltı ve yerüstü dolguları içerisinde kullanımları söz konusudur. Ayrıca bazı zararlı kimyasal reaksiyonların oluşumuna engel olduğu yâda azalttığı için macun dolgu içerisinde bağlayıcılara alternatif veya ikame olarak kullanımları mevcuttur. Bu çalışma içerisinde bu kullanımlara ilişkin detaylı bilgiler verilmiştir.

1.1 Bağlayıcı Alternatifi veya İkamesi Olarak Kullanımı

Dolgularda genellikle bağlayıcı olarak hidrolik bağlayıcılar kullanılmaktadır. Bağlayıcılar dolgu içerisinde mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ancak işletmeler için en büyük sorunlardan bir tanesi dolgu maliyetidir ki bu maliyetin büyük bir kısmını bağlayıcılar oluşturmaktadır. Benzaazoua vd., (2004) kaynağında macun dolgu içerisinde çimento maliyetinin ton başına 1\$ civarında olduğu belirtilmiştir. Ancak bu durum işletmeden işletmeye değişim arz etmektedir. Dolgu maliyeti içerisinde bağlayıcının büyük paya sahip olmasından dolayı mekanik özelliklerinin etkilenmeksizin dolgu teknolojisinde bağlayıcı oranlarının azaltılarak maliyetin optimize edilmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için çimento yerine daha ucuz bağlayıcı özellikli malzemelerin kullanımının artırılması gerekmektedir.

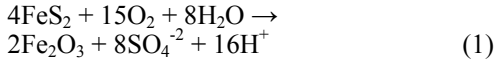
Çimentodan daha ucuz olan ve yapay puzolan olarak bilinen uçucu kül, yüksek fırın cürufu, öğütülmüş atık cam malzeme vb., gibi malzemelerin özellikle macun dolgu içerisinde ikame olarak kullanımına yönelik bazı çalışmalar yapılmıştır (Archibald vd., 1999; Benzaazoua vd., 1999; Benzaazoua vd., 2002; Erçikdi, 2009; Hassani vd., 2001; Mohammed vd., 2002; Tariq ve Nehdi, 2007). Yapılan bu çalışmalar genellikle sülfür içeriği yüksek atıklardan kaynaklı dayanım ve durabilite sorunlarının giderilmesine yönelik olmuştur. Bunun yanında dolgunun ekonomik olarak optimize

edilmesi de bu çalışmalarda ön plana çıkmaktadır.

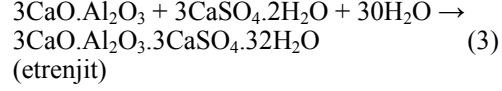
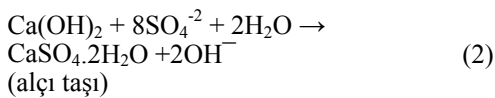
Bazı maddelerin betonun bileşenleri ile onun bütünlüğüne zarar vererek yıkıcı bir etkileşim içinde bulunduğu bilinmektedir. Bunlar genellikle reaktif mineral agregaları (yani sülfütlü agregalar), karışım suyundaki yüksek sülfat konsantrasyonu ve kurumaya bağlı atmosferik ortamda gelişen yoğun CO₂ varlığıdır. Bu oluşumlar beton içerisinde (Kosmatka vd., 1995; MEND, 2006);

- i) Karbonatlaşma,
- ii) Alkali-agrega reaksiyonları,
- iii) Sülfat atak gibi betonun bütünlüğünü etkileyen bu süreçlere sebebiyet vermektedirler.

Bu etkileşimler birbirine benzer yapılarıyla dolgular içinde geçerli olmaktadır. Macun dolgularda genellikle sülfür içeriği yüksek atıkların (özellikle prit) oksidasyona uğraması sonucunda oluşan asit (H⁺) ve sülfatın (SO₄⁻²) (1) dolgunun dayanım ve durabilitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Erçıkıd, 2009).



Hassani, vd., (2001), Benzaazoua, vd., (1999), Benzaazoua, vd., (2002), Tariq ve Nehdi, (2007) ve Erçıkıd, (2009) kaynaklarında oksidasyon sonucu açığa çıkan asidin hidrasyon ürünlerini olumsuz etkilediğini ve bundan dolayı dolgu dayanım ve durabilitesini azalttığını belirtmişlerdir. Yine sülfat varlığının dolguda kullanılan bağlayıcı ürün yapısında bulunan portlandit (Ca(OH)₂) ve trikalsiyum alümina (3CaO.Al₂O₃) ile reaksiyona girerek genleşme özelliğine sahip ikincil jelleri (etrenjit-alçı taşı) (2)-(3) oluşturduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bu jellerin oluşumu sürecinde bünyelerinde bir hacim genleşmesi yaşandığından dolgu içerisinde içsel bir gerilme oluşturarak çatlamalara ve dayanım kaybına neden olmaktadır (Bernier vd., 1999).



Macun dolguda yaşanan bu dayanım ve durabilite kaybının katkılı portland çimento veya çimento ile birlikte puzolanik özelliğe sahip mineral katkı maddeleri (uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb.) kullanarak giderilebileceği belirtilmiştir. Hassani vd., (2001) sülfür içeriği yüksek malzemelerle yaptığı macun dolgu karışımlarında çimento yerine uçucu kül ilave (%40-60 oranında) ederek uzun dönemli dayanım kaybının azaldığını ancak uçucu külün bağlayıcı özelliğinin çimentoya kıyasla düşük olmasından dolayı dolgu için yeterli dayanım kazanımının sağlanamadığını belirtmiştir. Mohamed vd., (2002) yüksek sülfür içerikli atıklarla yaptığı çalışmalarda bağlayıcı olarak C sınıfı uçucu kül kullanmışlardır. Uçucu külün dolgunun işlenebilirliği, kıvamı ve hacim sabitliğini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Benzaazoua vd., (2002) 3 farklı (yüksek, orta, düşük) sülfür içerikli malzemeler ile yaptıkları karışım deneylerinde portland çimentosu yerine ikame uçucu kül (%50 oranında) kullanmışlardır. Çalışmalarında uçucu külün özellikle yüksek kükürt içerikli atık malzemelerle oluşturulan numunelerin uzun dönemli dayanımına olumlu etkideğini belirtmişlerdir. Mishra ve Karanam, (2006) yaptıkları çalışmalarında uçucu küle kireç ve alçı taşı ilave ederek hidrolik dolguda bağlayıcı malzeme olarak kullanmayı denemişlerdir. Yaptıkları çalışmaların sonucunda hidrolik dolguda kum yerine alternatif olarak kireç ve alçı taşı ilavesiyle uçucu kül kullanımının malzemede herhangi bir dayanım kaybı yaşanmaksızın kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca külün yer altı boşluklarına taşınmasının daha kolay olabileceğini ifade etmişlerdir.

Uçucu kül gibi yapay puzolanların dolgu içerisinde ikame veya alternatif bağlayıcı olarak kullanımının temel faydaları;

- Karışımın kıvamını iyileştirmek
- Karışımın boşluk oranı ve geçirgenliğini azaltmak

- Alkali-silika reaksiyonu ve asit-sülfat etkisiyle oluşan dayanım ve durabilite kaybını azaltmak
- Çimentolu bağlayıcılar yerine veya ikame kullanılarak enerji kaybını azaltmak ve çevresel açıdan uygun bir malzeme temini sağlamış olmak
- Ekonomiklik sağlamak

1.2 Atık Malzeme Olarak Kullanımı

Küller herhangi bir endüstri alanında yeniden kullanılmadıklarında atık malzeme olarak genellikle termik santrallere yakın yerlerde depolanıp bertaraf edilmektedir. Bunun dışında bazı yeraltı ve yerüstü kömür işletmelerinde yeni bir malzeme bulma gereksinimi duymaksızın dolgu malzemesi olarak kullanılarak bertaraf edilmektedirler. Uçucu küllerin kömür madenciliğinde dolgu malzemesi olarak kullanımı ile ilgili Çavuşoğlu, (2008), Jixiong vd., (2011a), Jixiong vd., (2011b), Matsui vd., (2000), Qiang vd., (2012), Sasaoka vd., (2001), Sasaoka vd., (2002) ve Zhou vd., (2004) gibi çeşitli kaynaklarda bahsedilmiştir.

Uçucu küllerin uzun ayak madenciliğinde zemin kontrolü sağlamak, tasman etkisini azaltmak ve kömür rezervinin geri kazanımını artırmak için yapılan yeraltı dolgusunda dolgu malzemesi olarak kullanıldığı bilinmektedir (Grice vd., 1999; Palarski, 1998). Özellikle Çin'de uçucu küllerin yeraltı madenciliğinde kullanımına yönelik çalışmaların fazlalığı göze çarpmaktadır. Çin'de bulunan kömür madenlerinin çoğunluğu yapıların, suların ve demir yollarının mevcut olduğu bölgelerin altında yer almaktadır. Bu tip kömür madenlerinde hızlı üretim yapmak ve kömürü yeraltından yerüstüne çıkarmak için seçilen madencilik metotlarından biriside mekanize yöntemdir. Ancak kömür madenlerinin bulunduğu bölgelerdeki yerleşim yerlerinden dolayı mekanize yöntem için göçertmeli yöntemden ziyade dolgulu oda-topuk yöntemi kullanılmak zorunlu hale gelmiştir. Düşük kalorili bu kömür madenlerinin yakınlarında kurulan termik santrallerden elde edilen atık küller yine bu ocaklarda dolgu malzemesi olarak

kullanılarak bertaraf edilmektedir (Jixiong vd., 2011a).

Bazı yer altı işletmelerinde uçucu kül ve çimento karışımı dolgular yapılmaktadır (Şek. 1). Bu tip dolgu karışımlarında artan kül miktarıyla dayanım düşmektedir. Yeraltında gerekli dolgu dayanımı ise madenin bulunduğu jeolojik koşullara bağlıdır; derinlik, yan kayaç ve toprak tipi ve özellikleri, madencilik yöntemi. Derin olmayan maden ocaklarında gerekli dayanım miktarı derin madenlerle kıyaslandığında ciddi boyutlarda değildir (Sasaoka vd., 2002). Wagner ve Galvin, (1979) çalışmalarında derin olmayan oda-topuk yöntemiyle çalışan kömür işletmelerinde uçucu küllü yapılan dolguların tavan şartlarında iyileştirme yaparak maden işletme koşullarını düzenlediği ve üretim miktarını arttırdığını belirtmişlerdir.



Şekil 1. Uçucu küllü macun dolgu (CIMFR, 2012'den değiştirilmiştir)

Matsui, vd., (2000) ve Sasaoka, vd., (2001) çalışmalarında uçucu küllerin atık kayaçlar ile birlikte yüksek arınlı açık ocak kömür işletmelerinde sürekli kazı sistemiyle kazı yapan makinelerin cevheri kazdıktan sonra oluşan boşluklara dolgu yapıldığını belirtmişlerdir. Oda-topuk şeklinde üretim yapılan açık ocak madeninde yapılan dolgunun kazılmış bölgenin daha sağlam kalmasını ve zemin kontrolünün sağlanmasını gerçekleştirdiği belirtilmiştir.

Zhou vd., (2004) yaptıkları çalışmada uçucu küllerin yer altı kömür işletmesinde kömür kazıldıktan sonra ortaya çıkan boşlukların doldurulmasında kum ile beraber kullanıldığını belirtmiştir. Yeraltı

işletmeciliği ile çıkartılan kömürün bulunduğu bölgede yerüstünde yerleşim yerlerinin olması dolgu yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Dolgu içerisinde bağlayıcı malzeme ile birlikte uçucu kül ve kum kullanılmıştır. Uçucu kül kullanımı dolgu maliyetini düşürdüğünü ve dolgunun 28 günlük dayanımının ise 1 MPa civarında olduğunu belirtmişlerdir.

Dolgulu çalışan yeraltı mekanize kömür işletmelerine örnek olarak Çin'de bulunan Xingtai madeni verilebilir. Qiang vd., (2012) kaynağında Xingtai madeninde mekanize sistem ve mekanize sistem içinde yer alan yeraltı dolgusunun yapılış şekline detaylı bir biçimde yer verilmiştir.

Xingtai kömür madeninde kömür damarı 9°'lik bir eğime, ortalama 3 m'lik kalınlığa ve yerkabuğundan 320 m derinliğe sahiptir. Kömürün alt tabanında 4,5 m'lik ve üstünde 6,7 m'lik bir kalınlığa sahip kumlu şeyl mevcuttur (Qiang vd., 2012).

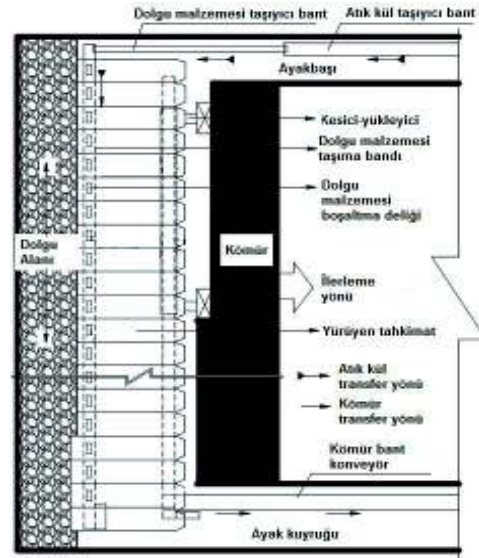
Dolgulu çalışılan tam mekanize yöntemde genellikle dolgu malzemesi olarak atık kayaç, uçucu kül ve diğer katı malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler öncelikle yerüstünde depolanarak taşınacağı bölge için hazır hale getirilir. Sonrasında dikey sürekli konveyör sistemi ile yerüstünden yeraltına katı maddeler transfer edilir ve bant konveyör sistemi yardımıyla dolgu yapılacak bölgeye nakledilir (Jixiong vd., 2011a; Jixiong vd., 2011b; Qiang vd., 2012).

Bu tip mekanize ayaklarda dolgu sistemi 4 parçadan oluşmaktadır;

- Yüze transfer sistemi,
- Dikey besleme sistemi,
- Yeraltı taşıma sistemi,
- Dolgu alanına doldurma sistemi

Dolgu malzemesi atık kayaç ve uçucu kül yerüstünde karışım tesisinde karıştırıldıktan sonra dikey besleme sistemi ile yeraltında bulunan dolgu silolarına nakledilir. Buradan dolgu malzemesi karışımı bant konveyörlerle dolgu yapılacak alana kadar taşınır. Ayak içinde bulunan yürüyen tahkimatların arka bölümlerine yerleştirilmiş dolgu malzemesi taşıma konveyörleri vardır. Bu konveyörlerin içerisinde her biri bir yürüyen tahkimat

ünitesine gelecek biçimde boşaltma delikleri mevcuttur. Bu boşaltma deliklerinden kuyruk kısmından başlanmak koşuluyla dolgu malzemesi boşaltılarak göçük kısmının tamamına yakını doldurulur ve böylece dolgu işlemi tamamlanmış olur (Şek. 2). Bu sistemde üretim yapıldıktan sonra açılan boşluğun tamamına yakını doldurulmaktadır.



Şekil 2. Yeraltı mekanize uzun ayak madenciliğinde çalışılan arın ve dolgu planı (Qiang, vd., 2012)

Yine uçucu küllerin dolgu malzemesi olarak kullanılmasına örnek diğer bir kömür madeni ülkemizde faaliyet gösteren Çayırhan madeni yeraltı mekanize sistemidir (Sistemle ilgili detaylı bilgi için bkz. Çavuşoğlu, 2008; Çavuşoğlu vd., 2009). Sistemde dolgu üretimin ayrılmaz bir parçası şeklindedir. Dolgu üretim yapılan bölgede ayakbaşı meydana gelen açıklıkların uçucu küllü çimentolu karışımla doldurulmasıdır. Çayırhan mekanize sisteminde dolgu işlemini 3 parçaya ayırabiliriz.

- Yüze kuru karışım sistemi,
- Yeraltına kuru transfer sistemi,
- Yeraltı sulu karışım sistemi,

Bu sistemde bağlayıcı malzeme olarak portland çimentosu ve atık malzeme olarak uçucu kül kullanılmaktadır. Dolgunun mekanik gereksinimi sistemin yapısına bağlı olarak oldukça yüksek seviyededir. Dolguda kül ve çimento dışında herhangi bir katı malzeme kullanılmamaktadır. Dolgunun erken dayanımının yüksek olması istendiğinden dolgu içerisine priz hızlandırıcı katkı maddesi katılmaktadır.

Bu sistemde atık malzeme olarak uçucu külün önemi oldukça yüksektir. Farklı bir malzemeye gereksinim duyulmadan santrale beslenen kömürün yanması sonrasında oluşan uçucu kül atık malzeme olarak kullanılmaktadır. Ayrıca uçucu külün oldukça ince taneli yapıya sahip olması onun yeraltına kuru biçimde taşınmasını kolaylaştırmıştır. Bu da dolgunun yapılış hızını olumlu yönde etkilemektedir. Dolgunun yapılış hızı aynı zamanda üretim hızını da olumlu biçimde etkilemektedir.

Çayırhan yeraltı mekanize işletmesinde yapılan uçucu küllü dolgunun temel görevleri;

- Üretim sonrası ayak başı tahkimat sistemine yardımcı olması,
- Taban yolu tahkimat sistemine yardımcı olması,
- Göçük arkası malzemenin taban yoluna geçişini engelleme,
- Göçük tarafında oluşabilecek yangın sonrası gaz sızıntısının taban yoluna geçişini engelleme,
- Yeryüzü tasman oluşumunu kısmen engelleme şeklindedir.

Külün oldukça ince taneli yapıya sahip olması dolgu içerisinde geçirimsizliği azaltarak daha kompakt bir dolgu elde edilmesini sağlamaktadır. Böylelikle gaz sızıntısı gibi ocak içerisinde çalışmaları aksatmaya sebebiyet verecek bir takım olayların önlenmesi sağlanmış olmaktadır.

Kömürden elde edilen küller ile yapılan dolgu karışımının bazı avantajları vardır (CIMFR, 2012);

- Fazla miktarda yâda hiç susuzlandırma gerekemediği için dolgu susuzlandırma

maliyeti önemli ölçüde azalmaktadır. Dolgunun katılaşması küllün puzolanik özelliklerinden ve yeteri miktarda ilave edilen çimentolu malzemelerle sağlanmaktadır.

- Genellikle kömürden elde edilen külün tamamı dolgu için kullanıldığında atık malzemelerin yerüstü bertarafı dikkate değer bir biçimde azalır ve bertaraf maliyetleri önemli ölçüde azalmış olur.
- Dolgu yüksek miktarda malzeme taşıma kapasitesine uygun olduğundan dolayı daha yüksek üretim söz konusu olmaktadır.
- Hidrolik eğimden dolayı geleneksel dolgunun uygun olmadığı durumlarda macun kıvamındaki dolgu sistemi uygulanabilir.
- Hidrolik dolgudaki ince malzemelerin pompa ve borularda yol açtığı aşınma ve korozyon problemleri uçucu küllü macun dolgu ile artık oluşmamaktadır.
- Erken dayanım kazanımı sayesinde dolgu bekleme süresi kısaltmakta veya ortadan kalkmaktadır.
- Düşük su içeriğinden dolayı dolgu su drenaj barikatlarının yapımını ortadan kaldırır.

2 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Özellikle inşaat alanında yaygın kullanılan uçucu küllerin büyük bir çoğunluğu ise kullanılmadıkları gibi çevrede biriktirilmektedir. Toksik maddeleri bünyesinde bulundurduklarından bu durum çevresel anlamda tehlike arz etmektedir. Bunun giderilmesi adına küllerin sadece inşaat alanında değil farklı alanlarda da değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle madencilik alanında dolgu malzemesi olarak kullanımının etkili olacağı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda uçucu küllerin dolgu içerisinde alternatif veya ikame bağlayıcı olarak kullanımının dolgunun bazı özelliklerinin iyileştirmede etkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca kömür işletmelerinde atık malzeme olarak yeraltı boşluklarının doldurulmasında da kullanılmaktadır. Dolgu içerisinde uçucu kül kullanımı ile hem ekonomik ve çevresel açıdan uygun malzeme

temin edilmekte hem de madencilikte potansiyel rezervlerin kullanılabilirliği artırılmış olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abbasy, F., 2009. Thermal Conductivity of Mine Backfill, MSc. Thesis, University of Concordia, Montreal, Canada, 156p.
- Ahmaruzzaman, M., 2010. A Review on The Utilization of Fly Ash, Progress in Energy and Combustion Science, 36, 327-363.
- Anon, 2003. Flyash Facts for Highway Engineers, American Coal Ash Association, Technical Report Documentation, 1-75p.
- Archibald, J., F., Chew, J., L., and Lausch, P., 1999. Use of Ground Waste Glass and Normal Portland Cement Mixtures for Improving Slurry and Paste Backfill Support Performance, CIM Bulletin, 92, 74-80.
- Aruntaş, H., Y., 2006. Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, Gazi Üniv. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21, 1, 193-203.
- Baba, A., 2001. Yatağan (Muğla) Termik Santrali Atık Depolama Sahasının Yeraltı Sularına Etkisi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, cilt: 25, no: 2, s.1-19.
- Benzaazoua, M., Belem, T., ve Bussière B., 2002. Chemical Factors That Influence the Performance of Mine Sulphidic Paste Backfill, Cement and Concrete Research, 32, 1133-1144.
- Benzaazoua, M., Fall, M., ve Belem, T., 2004. A contribution To Understanding The Hardening Process of Cemented Pastefill, Minerals Engineering, 17, 2, 141-152.
- Benzaazoua, M., Ouellet, J., Servant, S., Newman, P., and Verburg, R., 1999. Cementitious Backfill with High Sulfur Content Physical, Chemical and Mineralogical Characterization, Cement and Concrete Research, 29, 5, 719-725.
- Bernier, L., R., Li, M., G., ve Moerman, A., 1999. Effects of Tailings and Binder Geochemistry on The Physical Strength of Paste Backfill, Proceedings of Sudbury'99, Mining and The Environment II, Sudbury, Canada, 1113-1122.
- Blissett, R., S., ve Rowson, N., A., 2012. A Review of The Multi-Component Utilization of Coal Fly Ash, The Science and Technology of Fuel and Energy, Article in Press.
- CIMFR, 2012. Development and Demonstration Of High Concentration Fill Technology on Utilization of Fly Ash as A Filling Material For Underground Coal Mines, Central Institute of Mining and Fuel Research, <http://www.cmriindia.nic.in/stowing.pdf>
- Çavuşoğlu, İ., 2008. Uçucu Küllerin Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılması: Örnek Bir Uygulama (Çayırhan), Madencilik Dergisi, 47, 3, 3-13.
- Çavuşoğlu, İ., Çapık, M., Yılmaz, A., O., ve Zengin, T., 2011. Yeraltı Ocak Sularının Macun Dolguda Kullanımı, Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Ankara, s. 163-170.
- Çavuşoğlu, İ., Şenfilo, L., Tarhan Ş., ve Turan, H., H., 2009. Çayırhan Yeraltı İşletmelerinde Yüksek Arınlı Mekanize Uzunayakların Üretim Hızının İncelenmesi, Türkiye 2. Maden Makinaları Sempozyumu, 06 Kasım, Zonguldak-Türkiye (Çağrılı Bildiri), s. 129-142.
- De Souza E., Archibald J., F., ve Dirige A., P., 2003. Economics and Perspectives of Underground Backfill Practices in Canadian Mining, 105th Annual General Meeting of The Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal (Quebec), Canada.
- ENVIS, 2007. Utility Bonanza from Dust, State Environment Related Issues, Vol. 2, No:6, p.1-8.
- Erçikdi, B., 2009. Mineral ve Kimyasal Katkı Maddelerinin Macun Dolgu Performansına Etkisi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s.1-124.
- Grice, A., G., Finn, T., ve Smith, P., A., 1999. Backfilling in Australian Mines: A New Application in Underground Coal Operations, Australian Coal Review, s.10-14.
- Gündeşli, U., 2008. Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Bölümü, 71s.
- Hassani, F., P., Ouellet, J., ve Hossein, M., 2001. Strength Development in Underground High Sulphate Paste Backfill Operation, CIM Bulletin, 94, 57-62.
- Iyer, R., S., ve Scott, J., A., 2001. Power Station Fly Ash – A Review of Value-Added Utilization Outside of The Construction Industry, Resources, Conservation and Recycling, 31, 217-228.
- Jixiong, Z., Nan, Z., Yanli, H., ve Qiang, Z., 2011a. Impact Law of The Bulk Ratio of Backfilling Body to Overlying Strata Movement in Fully Mechanized Backfilling Mining, Journal of Mining Science, 47, 1, 73-84.
- Jixiong, Z., Qiang, Z., Yanli, H., Jinwei, L., Nan, Z., ve Dongfeng, Z., 2011b. Strata Movement Controlling Effect of Waste and Fly Ash Backfillings in Fully Mechanized Coal Mining with Backfilling Face, Mining Science and Technology, 21, 721-726.
- Kosmatka, S., H., Kerkhoff, B., ve Panarese, W., 1995. Design and Control of Concrete Mixtures, Canadian Portland Cement Association, 6th Edition, s:221.
- Matsui, K., Shimada, H., Sasaoka, T., Ichinose, M., ve Kubota, S., 2000. Highwall Mining System

- with Backfilling, Mine Planning and Equipment Selection (MPES'00), Balkema, Rotterdam, s.333-338.
- MEND, 2006. Paste Backfill Geochemistry- Environmental Effects of Leaching Weathering, Mine Environmental Neutral Drainage Program, Report 10.2., Vancouver, B.C., USA, s:1-73.
- Mishra, M., K., ve Karanam, U., M., R., 2006. Geotechnical Characterization of Flyash Composites for Backfilling Mine Voids, *Geotechnical and Geological Engineering*, 24, 6, 1749-1765.
- Mohamed, A., M., O., Hossein, M., ve Hassani, F., P., 2002. Hydro-Mechanical Evaluation of Stabilized Mine Tailings, *Environmental Geology*, 41, 749-759.
- Palarski, J., 1998. Design And Use of Backfill for Support in Polish Coal Mines, *Proceedings of the Sixth International Symposium on Mining with Backfill* (ed. M. Bloss), Brisbane, Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication 1/98, s.139-145.
- Qiang, Z., Jixiong, Z., Yanli, H., ve Feng, Ju., 2012. Backfilling Technology and Strata Behaviors in Fully Mechanized Coal Mining Working Face, *International Journal of Mining Science and Technology*, 22, 151-157.
- Sasaoka, T., Shimada, H., Ichinose, M., Kubota, S., ve Matsui, K., 2001. Utilization of Flyash as a Backfilling Material in Highwall Mining System, 3rd Asian Symposium Engineering Geology and the Environment, Yogyakarta Indonesia, pp.263-272.
- Sasaoka, T., Shimada, H., ve Matsui, K., 2002. The Utilization of Flyash as a Backfilling Materials in Mining and Civil Engineering Field, *Proceeding of 7th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production*, Cagliari Italy, pp.1119-1125.
- Tariq, A., ve Nehdi, M., 2007. Developing Durable Paste Backfill from Sulphidic Tailings, *Waste and Resource Management*, 160, 4, 155-166.
- Vassilev, S., V., Vassileva, C., G., Karayığıt, A., I., Bulut, Y., Alastuey, A., ve Querol, X., 2005. Phase-Mineral and Chemical Composition of Composite Samples from Feed Coals, Bottom Ashes and Fly Ashes at The Soma Power Station, Turkey, *International Journal of Coal Geology*, 61, 35-63.
- Wagner, H., ve Galvin, J., M., 1979. Use of Hydraulically Placed PFA to Improve Stability in Bord and Pillar Workings in South African Collieries, *Symposium on the Utilization of Pulverized Fuel Ash*, Pretoria, South Africa, 1-27.
- Zhou, H., Qu, Q., Hou, C., Zhao, C., Chen, D., ve Zhao, Q., 2004. Paste Backfill Study for None-Village-Relocation Coal Mining, *Proceedings of the 5th International Symposium on Mining Science and Technology*, p.91-94.

Bazı Doğal Taşların Özgül Isı Değerleri ile Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi

The Investigation of Relationships Between Specific Heat Values of Some Natural Stones and Physical-Mechanical Properties

N.Şengün,İ.Uğur,S.Demirdağ,R.Altındağ

Süleyman Demirel Üniv.,Mühendislik Fak.,Maden Müh. Bölümü,Isparta

C.E.Koççaz

Süleyman Demirel Üniv.,Fen Bilimleri Enst.,Maden Müh. Bölümü,Isparta

ÖZET Doğal taşın kullanım alanlarından biri de dış cephe kaplama uygulamalarıdır. Bu uygulamalarda genellikle kullanılan doğal taşın yalıtım özellikleri dikkate alınmaktadır. Doğal taşın yalıtım özelliği söz konusu olduğunda; ısı iletim katsayısı, ısı yayılım katsayısı, özgül ısı ve ısı kapasitesi gibi değerleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada, 15 farklı doğal taşın özgül ısı değerleri kalorimetri deneyi ile elde edilmiş ve doğal taşların özgül ısı değerlerinin 0.164-0.288 cal/g°C arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek özgül ısı değeri Burdur bejinde en düşük ise Gönen andezitinde tespit edilmiştir. Kayaçların özgül ısı değerleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri incelediğimizde en yüksek ilişki *P*-dalga hızı ile elde edilmiştir. Ağırlıkça ve hacimce su emme ve birim hacim ağırlık ile özgül ısı değerleri arasında benzer şekilde yüksek ilişkiler bulunmuştur. Bu durum, kayaçların özgül ısı değerlerinin kayaç bünyesindeki gözenek miktarı ve yapısıyla ilişkili olduğunu göstermektedir.

ABSTRACT One of the using area of natural stone is exterior wall cladding applications. The insulation properties are generally taken into account for these types of applications. Referring to the insulation properties of natural stone, heat transfer coefficient, thermal diffusion coefficient, specific heat and heat capacity values must be considered. In this study, specific heat values of 15 different natural stones were determined with calorimetry test and it was found that these values vary between 0.164-0.288 cal/g°C. The highest and the lowest specific heat values were determined for Burdur Beige and Gonen Andesite respectively. When the relationship between specific heat values and physical and mechanical properties are examined, the most powerful relation was obtained for *P*-wave velocity. Similar relationships were also obtained between water absorption values by weight/volume, unit volume weight and specific heat values. This situation clearly revealed that, the specific heat values are closely related with the pore quantity and pore structure of rocks.

1 GİRİŞ

Mermer ve doğal taşın inşaat sektöründe kullanımı, gün geçtikçe artmaktadır. Bu gelişmeye paralel olarak mermerin kullanım alanları çeşitlilik kazanmaktadır. Bu kullanım alanlarından birisi de dış cephe kaplama uygulamalarıdır. Dış cephe kaplaması olarak malzeme seçiminde

genellikle doğal taşın görünüm özellikleri dikkate alınmakta, ancak yalıtım özellikleri çoğunlukla göz ardı edilmektedir.

Isısal konfor amaçlı uygulamalarda, bina dış duvar elemanlarının (sıva, briket, tuğla, yalıtım malzemesi, vb.) malzeme özellikleri önemli olmakla birlikte, duvar kaplamasında kullanılan doğal taşın yalıtım özellikleri de

dikkate alınmalıdır. Bu bakımdan, dış cephe kaplamasında kullanılacak doğal taşın yalıtım özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Bir malzemenin yalıtım özelliğinden bahsederken, o malzemenin ısı iletim katsayısı, ısı yayılım katsayısı, özgül ısı ve ısı kapasitesi gibi değerlerin bilinmesi gerekmektedir (Uğur vd., 2003). Duvar ve döşemelerin ısı depolama yeteneği, kışın ısıtmanın durması halinde hızlı bir soğumayı, yazın da özellikle güneş etkisi altında, yapı bileşenleri bulunan hacimlerde, hava sıcaklığının gündüz saatlerinde aşırı yükselmesini önlemek bakımından gereklidir. Isı depolama yeteneği, yapı bileşeninin kütlesi ve yapıldığı malzemenin özgül ısısı ile doğru orantılıdır (TS 825).

Isı, belirli sıcaklıktaki bir sistemin sınırlarından, daha düşük sıcaklıktaki bir sisteme, sıcaklık farkı nedeniyle transfer edilen enerjidir. Özgül ısı ise bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını 1°C artırmak için gerekli olan ısı miktarıdır. Özgül ısı birimi J/g°C veya cal/g°C'dir. Özgül ısıya, ısınma ısısı veya spesifik ısı da denilmektedir. Özgül ısı maddenin ayırt edici özelliklerindedir ve aynı zamanda maddenin ısıyı soğurma (yutma) yeteneğidir.

Özgül ısı maddenin bulunduğu fiziksel hal, basınç ve sıcaklığa göre az da olsa değişkenlik göstermektedir. Ancak sıcaklık aralığı çok büyük değilse, sıcaklık değişimi ihmal edilebilir ve özgül ısı değeri sabit alınabilmektedir.

Kalorimetri, bir enerji türü olan ısının ölçülmesiyle ilgili bilim dalıdır. Kalorimetri yasaları üç maddede özetlenmektedir (Frank vd., 2001);

1. Sıcaklıkları farklı iki cisim birbirlerine dokundurulurlarsa sıcak cisim soğumaya, soğuk cisim ısınmaya başlar. Denge sıcaklığı ya da termik denge adı verilen ortak bir sıcaklığa erişinceye kadar aralarında ısı alış verişleri sürer.
2. Isınan cismin aldığı ısı miktarı, soğuyan cismin verdiği ısı miktarına eşittir.
3. Bir olay için herhangi bir sisteme verilmesi gereken ısı miktarı, aynı olayın tersi olurken sistemden açığa çıkan ısı miktarına eşittir.

Kütlesi m gram, özgül ısısı c cal/g°C olan bir maddenin sıcaklığını T °C değiştirmek için verilmesi veya alınması gereken ısı (Q) aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

Gündüz vd. (2001), yaptıkları çalışmada 8 farklı mermer türlerine ait levha ve plakaların, ısısal konfor parametreleri üzerine detaylı analizler yapmışlardır. Ayrıca, ısısal konfor parametreleri ile ısı yalıtım özelliği arasındaki ilişkileri araştırarak, matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Acar (2002), yaptığı çalışmada gözeneksiz bazaltın özgül ısı değerini 1013 J/kgK (0.242 cal/g°C), gözenekli bazaltın özgül ısı değerini ise 924 J/kgK (0.221 cal/g°C) olarak bulmuştur.

Mühendislikte kullanılan pek çok malzemenin özgül ısısı daha önceden deneylerle belirlenmiş ve çeşitli kaynaklarda sunulmuştur. Çizelge 1'de çeşitli maddelerin oda sıcaklığında ve atmosfer basıncı altında özgül ısı değerleri verilmiştir.

Çizelge 1. Bazı maddelerin özgül ısı değerleri (MEB-MEGEP, 2009)

Madde	c cal/g°C	Madde	c cal/g°C
Su	1.0	Nikel	0.11
Hidrojen	0.41	Bakır	0.10
Oksijen	0.22	Çinko	0.095
Bor	0.58	Pirinç	0.094
Magnezyum	0.26	Cam-kum	0.15
Alüminyum	0.217	Tuğla	0.220
Krom	0.12	Gazbeton	0.220
Manganez	0.115	Bimsblok	0.229
Demir	0.113	Sıva	0.251

Bu çalışmada, bina dış cephe kaplamalarında kullanılan doğal taşların özgül ısı değerleri kalorimetre testi ile belirlenmiştir. Çalışmada kristalize mermerler, mağmatik kökenli doğal taşlar, sert ve yumuşak karakterli kireçtaşlarından toplam 15 farklı doğal taş kullanılmıştır. Bu doğal taşların özgül ısıları tayin edildikten sonra kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ilgili standartlarla belirlenmiş ve bu özellikler ile özgül ısı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak incelenmiştir. Sonuç olarak, incelenen 15 farklı kayacın özgül ısı

değerleriyle dominant etkili olan kayaç özellikleri belirlenmiş olup doğal taşın kullanımı aşamasında uygun doğal taş seçiminde dikkate alınacak kayaç özelliği irdelenmeye çalışılmıştır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kayaçların özgül ısı değerleri ile fiziko-mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla, inşaat sektöründe dış cephe kaplama malzemesi olarak kullanılan farklı bölgelerden temin edilen 15 farklı kayaç temin edilmiştir (Çizelge 2). Bu kayaçlar laboratuarda istenilen boyutlara getirildikten sonra Türk Standartları Enstitüsü (TSE) ve Uluslararası Kaya Mekanik Derneği (ISRM, 2007) standartları çerçevesinde deneyleri yapılmıştır.

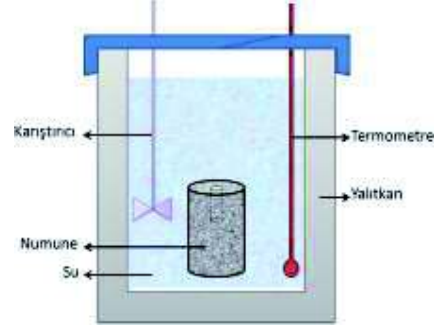
Çizelge 2. Çalışmada kullanılan kayaçlar

Kod	Numune Adı	Kayaç	Türü
IA	Isparta Andezit	Traki-andezit	Mağ.
GA	Gönen Andezit	Trakit	Mağ.
IB	Isparta Bazalt	Bazalt	Mağ.
EG	Ezine Graniti	Granit	Mağ.
KP	Kaplan Postu	Mermer	Met.
AŞ	Afyon Şeker	Mermer	Met.
MB	Muğla Beyaz	Mermer	Met.
DS	Dazkırı Siyah	Meta-kumtaşı	Met.
BR	Bilecik Rozalya	Kireçtaşı	Sed.
BB	Burdur Bej	Kireçtaşı	Sed.
BE	Burdur Emprador	Dolomitik-krçt.	Sed.
AE	Açık Emprador	Dolomitik-krçt.	Sed.
BT	Bucak Traverten	Traverten	Sed.
DT	Denizli Traverten	Traverten	Sed.
FL	Finike Limra	Killi-kireçtaşı	Sed.

2.1 Kayaçların Özgül Isılarının Belirlenmesi

Kayaçların özgül ısı değerleri TS 4048 (1984) ve ASTM D 4611 – 86 (2004) standartları çerçevesinde belirlenmektedir. Isı miktarının ölçülmesinde kalorimetre kabı kullanılmaktadır (Şekil 1). Kalorimetre, çevresi ısı kaybını önlemeye yarayan yalıtkanla kaplanmış olan bir kaptır. Bu kabın içinde, termometre ve belli bir miktar su bulunmaktadır. Tepkime sırasında alınan ya da verilen ısı, suyun ve kabın sıcaklığının değişmesine neden olmaktadır. Sıcaklık

değişiminden yararlanılarak tepkimedeki ısı değişimi hesaplanabilmektedir.



Şekil 1. Kalorimetre kabı

Kayaçların özgül ısı değerlerinin belirlenmesi amacıyla, 42 mm çapında karotlar alınıp 50 mm boyunda olacak şekilde karot numuneleri hazırlanmıştır. Belirli bir derecede kondisyonlanan kayacın bünye sıcaklığını ölçebilmek için karot şeklindeki numunenin silindir ekseninden 5 mm çapında 20 mm boyunda bir delik açılmıştır. Kalorimetre testinde kayacın ilk sıcaklığı bu delik içinden ölçülmüştür.

Maddeler birbirine dokundurduğunda ve karıştırıldığında aralarında ısı alışverişi olmaktadır. Sıcaklığı yüksek olan madde sıcaklığı düşük olan maddeye ısı vermektedir. Isı alışverişi maddelerin sıcaklığı eşit oluncaya kadar devam etmektedir. İki maddenin bu eşit sıcaklığına denge sıcaklığı denir. “Isı alışverişinde cisimlerden birinin aldığı ısı miktarı diğer cismin verdiği ısı miktarına eşittir” prensibinden hareketle, kuru ağırlığı önceden tartılmış kayaç numunelerin belli bir sıcaklığa gelinceye kadar (yaklaşık 80°C) etüvde ısıtılıp bünye sıcaklığı ölçüldükten sonra yine ağırlığı önceden tartılmış kalorimetre kabı içindeki saf suya daldırılmıştır. Bu işlem sonucunda kayaç ısını suya vererek bir süre sonra denge sıcaklığına gelmiş ve bu sıcaklık değeri ölçülmüştür. Kayaçların özgül ısı değerleri aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmıştır. Her kayaç türü için 3 deney yapılmış ve hesaplanan özgül ısı değerlerin ortalamaları Çizelge 3’te sunulmuştur.

$$Q_{\text{verilen}} = Q_{\text{alınan}} \quad (2)$$

$$m_{\text{kayaç}} * c_{\text{kayaç}} * \Delta T_{\text{kayaç}} = m_{\text{su}} * c_{\text{su}} * \Delta T_{\text{su}} \quad (3)$$

$$c_{\text{kayaç}} = (m_{\text{su}} * c_{\text{su}} * \Delta T_{\text{su}}) / (m_{\text{kayaç}} * \Delta T_{\text{kayaç}}) \quad (4)$$

2.2 Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

2.2.1 Özgül Ağırlık

Çalışmada kullanılan kayaçların özgül ağırlıkları, TS EN 1936 (2007) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Kayaç parçaları bilyeli değirmende 0.18 mm boyutunun altına öğütülmüş ve piknometre deneyi ile kayaçların özgül ağırlıkları tespit edilmiştir. Her kayaç türü için 3 adet deney yapılmış ve aritmetik ortalamaları dikkate alınmıştır.

2.2.2 Birim Hacim Ağırlık Ve Su Emme

Kayaçların birim hacim ağırlıklarını ve su emme değerlerini belirlemek için TS EN 1936 (2007) ve TS EN 13755 (2009) standartlarına uygun olarak, kenar uzunluğu 50 mm olan küp şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Numuneler etüvde kurutulmuş kuru ağırlıkları alınmış ve 48 saat su içinde bırakılmıştır. Bu işlem sonrasında suya doygun numuneler suda ve havada tartılmış ve ilgili formüllerle kayaçların birim hacim ağırlıklarını ve su emme değerleri belirlenmiştir. Bu deney her kayaç türü için 5 adet numune üzerinde yapılmış ve değerlerin ortalamaları Çizelge 3'te verilmiştir.

2.2.3 Shore Sertliği

Shore sertliği ölçümü Altındağ ve Güney (2006) ve ISRM (2007) tarafından önerilen prensipler çerçevesinde kenar uzunluğu 50 mm olan küp numunelerin yüzeyi sırasıyla 60-180-360 numaralı zımparalar ile pürüzsüz hale getirildikten sonra C-2 tip Shore Scleroscope ile ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerde numune yüzeyinde 20 okuma yapılmış ve değerlerin aritmetik ortalamaları Çizelge 3'te verilmiştir.

2.2.4 P-Dalga Hızı

Numunelerin P-dalga hızları ISRM (2007) ve TS EN 14579 (2006) standartlarına göre belirlenmiştir. P-dalga hızı ölçümleri 50 mm kenar uzunluğuna sahip düzgün kübik şeklinde ve her kayaç türü için 5 numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Değerlerin aritmetik ortalamaları Çizelge 3'te verilmiştir.

2.2.5 Böhme Aşınma Deneyi

Çalışmada kullanılan kayaçların Böhme yüzey aşınma deneyi için kenar uzunlukları 71 mm olan küp biçiminde numuneler hazırlanıp Böhme cihazında TS EN 14157 (2005) standardına uygun olarak aşındırma deneyleri yapılmıştır. Her kayaç türü için 3 adet numune üzerinde deneyler yapılmış ve değerlerin ortalamaları Çizelge 3'te sunulmuştur.

2.2.6 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarını belirlemek için TS EN 1926 (2007) standardında anlatılan prensipler çerçevesinde, ELE-ADR2000 model 200 ton kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır. Bu amaçla kenar uzunluğu 50 mm olan küp numuneler hazırlanmış ve numuneler 70 °C'ye ayarlanmış etüvde kurutulmuştur. Numunelerin yükleme yapılacak yüzeylerinin alanları kumpas yardımıyla ölçülerek kırılma yükleri kaydedilmiştir. Kayaçların tek eksenli basınç dayanım değerleri, kırılma yüklerinin alanlarına oranlayarak hesaplanmıştır. Her kayaç türü için en az 5 deney yapılmış ve değerlerinin aritmetik ortalaması Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Kayaçların özgül ısı değerleri, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kayaç kodu	c cal/g°C	do g/cm ³	BHA g/cm ³	ASE %	HSE %	ΣP %	Shore Sertliği	Vp m/sn	BYA cm ³ /50cm ²	UCS MPa	BTS MPa
IA	0.242	2.606	2.300	2.99	6.86	11.8	61.0	4214	15.2	120	8.2
GA	0.164	2.611	2.296	3.48	7.99	12.1	56.9	2885	24.6	72	3.9
IB	0.250	2.891	2.655	1.85	4.91	8.1	77.0	4595	6.8	139	9.6
EG	0.244	2.745	2.689	0.31	0.84	2.0	81.2	5065	5.1	145	9.9
KP	0.238	2.729	2.707	0.07	0.19	0.8	35.3	4720	29.8	70	5.4
AŞ	0.259	2.735	2.690	0.30	0.80	1.6	41.6	4263	13.7	75	4.8
MB	0.239	2.728	2.714	0.05	0.14	0.5	45.0	4408	24.0	86	4.7
DS	0.250	2.764	2.648	1.32	3.48	4.2	45.7	4848	14.7	105	6.7
BR	0.286	2.740	2.686	0.21	0.56	2.0	63.2	6121	10.5	126	7.0
BB	0.288	2.720	2.701	0.08	0.22	0.7	62.6	6226	11.6	130	8.0
BE	0.239	2.806	2.572	1.61	4.21	8.4	46.8	5090	11.0	101	7.7
AE	0.268	2.780	2.692	0.86	2.31	3.2	56.6	5902	9.7	113	7.4
BT	0.273	2.683	2.492	1.11	2.77	7.1	39.5	4425	28.0	61	4.4
DT	0.220	2.699	2.384	3.19	7.32	11.7	36.7	4325	29.0	63	3.4
FL	0.182	2.686	2.365	4.33	10.25	12.0	28.0	4270	32.9	43	5.3

2.2.7 Brazilian Çekme Dayanımı

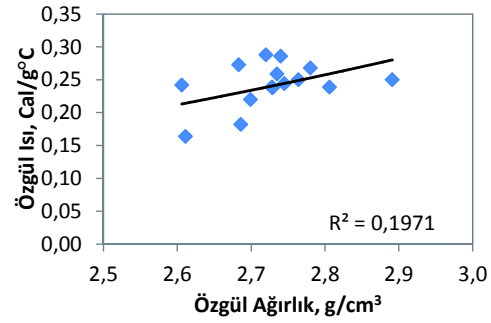
Brazilian çekme dayanımını belirlemek için TS 7654 (1989) standardı çerçevesinde her kayaçtan 5'er adet, çapları 54 mm, boyları 27 mm olacak şekilde numuneler hazırlanmış ve 70 °C'ye ayarlanmış etüvde kurutulmuştur. Numunelerin boy ve çapları kumpasla ölçüldükten sonra hidrolik preste yük, darbesiz ve sürekli olacak şekilde, sabit bir hızla deney numunesi kırılıncaya kadar uygulanmıştır. Deneyde kaydedilen en yüksek kuvvet değeri ve diğer parametreler ilgili formülde yerine konularak Brazilian çekme dayanım değerleri belirlenmiştir. Değerlerinin aritmetik ortalaması Çizelge 3'te verilmiştir.

3 VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

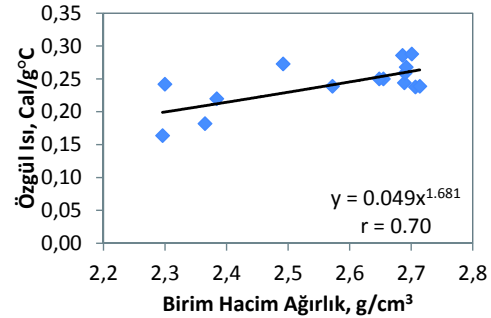
Kayaçların özgül ısı değerleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesinde, regresyon ve korelasyon analizleri kullanılmıştır. Regresyon analizinde iki özellik arasında en yüksek korelasyon katsayısını veren ilişkinin denklemi dikkate alınmıştır.

Çalışmada kullanılan kayaçların özgül ısı değerleri ile özgül ağırlıkları arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır (Şekil 2). Fakat özgül ısı ile birim hacim ağırlıkları arasında yüksek korelasyonlu ($r=0.70$)

doğrusal anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Şekil 3).



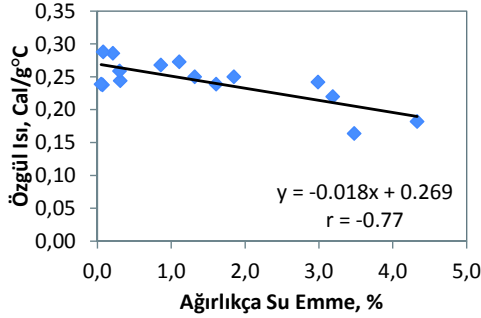
Şekil 2. Özgül ısı ile özgül ağırlık arasındaki ilişki



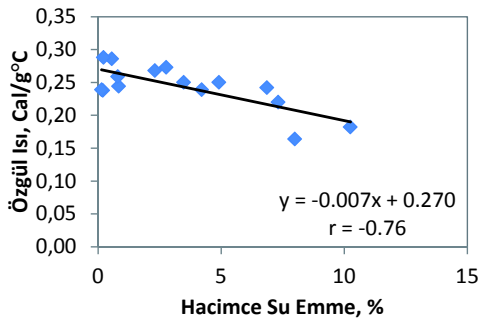
Şekil 3. Özgül ısı ile birim hacim ağırlık arasındaki ilişki

Kayaçların özgül ısı değerleri ile ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri arasında yine

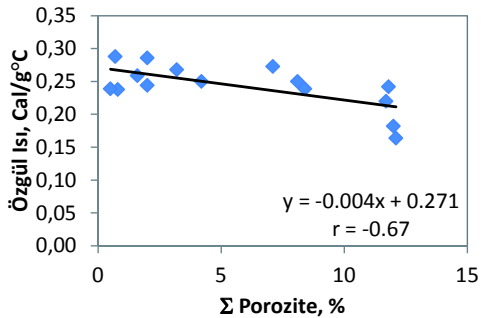
yüksek korelasyonlu (sırasıyla $r = -0.77$ ve $r = -0.76$) ters orantılı anlamlı ilişkiler bulunmuştur (Şekil 4-5). Toplam porozite değerleriyle ise daha düşük korelasyon katsayılı ters orantılı anlamlı bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 4. Özgül ısı ile ağırlıkça su emme arasındaki ilişki



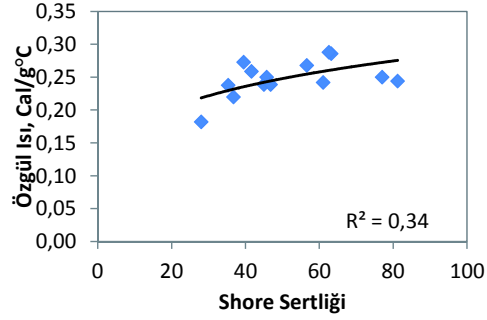
Şekil 5. Özgül ısı ile hacimce su emme arasındaki ilişki



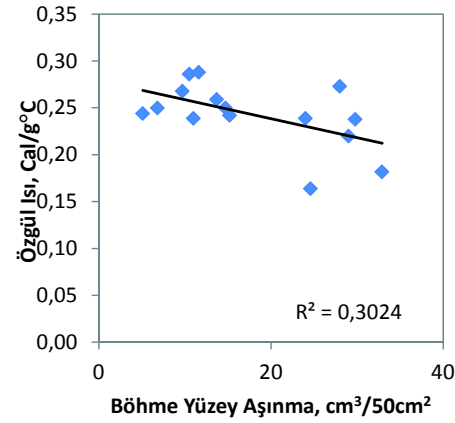
Şekil 6. Özgül ısı ile toplam porozite arasındaki ilişki

Çalışmada kullanılan kayaların Özgül ısı değerleriyle Shore sertlik değerleri arasında düşük korelasyon katsayılı doğru orantılı

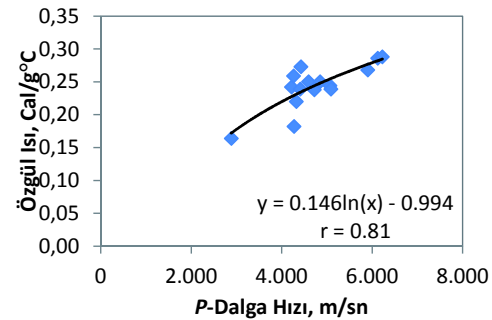
anlamlı bir ilişki elde edilmiş (Şekil 7), fakat Böhme yüzey aşınma değerleri ile anlamlı bir ilişki bulunamamıştır (Şekil 8).



Şekil 7. Özgül ısı ile Shore sertliği arasındaki ilişki



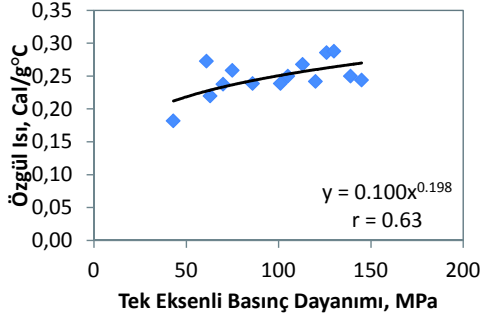
Şekil 8. Özgül ısı ile Böhme yüzey aşınma arasındaki ilişki



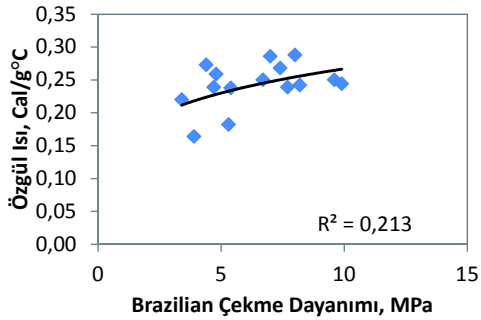
Şekil 9. Özgül ısı ile P-dalga hızı arasındaki ilişki

Kayaçların özgül ısı değerleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasında en yüksek ilişki, *P*-dalga hızı ile bulunmuştur. Logaritmik artan bu anlamlı ilişkinin korelasyon katsayısı $r=0.81$ 'dir (Şekil 9).

Kayaçların mekanik özelliklerinde tek eksenli basınç dayanımı ile özgül ısı arasında düşük korelasyon katsayılı ($r=0.63$) doğru orantılı anlamlı bir ilişki elde edilirken (Şekil 10), Brazilian çekme dayanımı ile özgül ısı arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır (Şekil 11).



Şekil 10. Özgül ısı ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 11. Özgül ısı ile Brazilian çekme dayanımı arasındaki ilişki

Çalışmada kullanılan kayaçların özgül ısı değerleri ile kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin dereceleri için yapılan korelasyon analizinden elde edilen katsayı değerlerinin anlamlı olup olmadıkları için hipotez testi yapılmıştır. %95 güven seviyesinde yapılan bu test sonucunda, özgül ısı değerleri ile özgül ağırlık ve Brazilian çekme dayanımı dışındaki özellikler arasında elde edilen

korelasyon katsayıların anlamlı olduğu görülmüştür (Çizelge 4).

Çizelge 4. Özellikler arasındaki ilişkilerin hipotez testi sonuçları

Bağımlı Değ.	Bağımsız Değ.	n	r	t hesap.	t tablo	Açıklama
	do		0.44	1.77		Değil
	BHA		0.70	3.53		Anlamlı
	ASE		-0.77	-4.35		Anlamlı
	HSE		-0.76	-4.22		Anlamlı
c	ΣP	15	-0.67	-3.25	±2.16	Anlamlı
	SS		0.58	2.57		Anlamlı
	Vp		0.81	4.98		Anlamlı
	BYA		0.55	2.37		Anlamlı
	TEBD		0.63	2.92		Anlamlı
	BÇD		0.46	1.87		Değil

c: Özgül ısı; do: Özgül ağırlık; BHA: Birim hacim ağırlık; ASE: Ağırlıkça su emme; HSE: Hacimce su emme; ΣP: Toplam porozite; SS: Shore sertliği; Vp: *P*-dalga hızı; BYA: Böhme yüzey aşınma; TEBD: Tek eksenli basınç dayanımı; BÇD: Brazilian çekme dayanımı

4 SONUÇLAR

Bina dış cephe kaplamasında sıklıkla tercih edilen doğal taşların, ısıl konfor amaçlı yalıtım parametrelerinin belirlenmesi ve bu değerlerin tercihte dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, 15 farklı doğal taşın özgül ısı değerleri kalorimetri deneyi ile elde edilmiştir. Buna göre, çalışmada kullanılan doğal taşların özgül ısı değerlerinin 0.164-0.288 cal/g°C arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek özgül ısı değeri Burdur Bejinde en düşük ise Gönen Andezitinde tespit edilmiştir.

Kayaçların özgül ısı değerleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri incelediğimizde, en yüksek ilişki *P*-dalga hızı ile bulunmuştur. Ağırlıkça ve hacimce su emme ve birim hacim ağırlık ile özgül ısı arasında benzer şekilde yüksek ilişkiler bulunmuştur. Bu durum, kayaçların özgül ısı değerlerinin kayaç bünyesindeki gözenek miktarı ve yapısıyla ilgili olduğunu göstermektedir. Kayaçların dayanım, sertlik ve aşınma özellikleri ile özgül ısı arasında kayda değer bir ilişki bulunamamıştır.

KAYNAKLAR

- Acar, A., 2002. Diyarbakır Karacadağ Bazaltlarının Endüstriyel Amaçlı Kullanım Alanları. Yüksek Lisans Tezi Maden Müh. Anabilim Dalı, Diyarbakır.
- Altındağ, R., Güney, A., 2006. ISRM Suggested Method for determining the Shore Hardness value, *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci.*, 43, p.19-22.
- ASTM D 4611 – 86, 2004. Standard Test Method for Specific Heat of Rock and Soil.
- Frank P. Incropera, David P. Dewitt, 2001. *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, Literatür Yayıncılık, 960 s., İstanbul.
- Gündüz L., Uğur İ., Demirdağ S., 2001. Mermer Türlerinin Özgül Isı Kapasite Değerleri Üzerine Teknik Bir İnceleme. *Türkiye III. Mermer Sempozyumu*, 3-5 Mayıs 2001, Afyon.
- ISRM, 2007. *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006*, (Ulusay, R., Hudson, J.A., Editors), Kozan Ofset, 628 s., Ankara.
- MEB-MEGEP, 2009. *Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Kimya Teknolojisi-Isı Transferi*, 63 s., Ankara.
- TS 4048, 1984. Isı Yalıtım Malzemesinin Özgül Isının Tayini, TSE, Ankara.
- TS 7654, 1989. Kayaçların Çekme Mukavemetinin Dolaylı (İndirekt) Metotla Tayini. TSE, Ankara.
- TS 825, 2008. Binalarda ısı yalıtım kuralları. TSE, Ankara.
- TS EN 13755, 2009 Doğal taşlar - Deney metotları - Atmosfer basıncında su emme tayini, TSE, Ankara
- TS EN 14157, 2005. Doğal taş - Aşınma direncinin tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 14579, 2006. Doğal taşlar - Deney metotları - Ses hızı ilerlemesinin tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1926, 2007. Doğal Taşlar- Deney Metotları- Basınç Dayanımı Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1936, 2007. Doğal Taşlar- Deney Metotları- Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini, TSE, Ankara.
- Uğur İ., Demirdağ S., Şengün N., 2003. Mermer Türlerinin Isı İletkenlik Değerleri Üzerine Bir Araştırma, *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu*, Afyon.

Genleşmiş Kil Agregası Üretim Tesisi ve Maliyet Analizi *Building up of Expanding Clay Aggregate Plant and Cost Analysis*

A.Özgüven

MTA Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, Ankara

L. Gündüz

Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği, Isparta

ÖZET Ülkemizde genleşmiş kil agregası üretimi ve tüketimi olmadığı gibi genleşmiş kil teknolojisi de bulunmamaktadır. Bu nedenle, genleşen kil agregalarının üretiminin yapılacağı tesis tasarımı ülkemiz için çok önemlidir. Bu çalışmada ülkemiz ve dünya koşulları göz önünde bulundurularak bir üretim tesisi önerilmiştir. Önerilen tesis, gelişmiş ülkelerde uygulanan üretim yöntemlerine benzemekle birlikte geliştirme deneylerinden elde edilen tecrübelerle özel olarak tasarlanmıştır. Önerilen tesisin kurulum aşamalarının tümü göz önünde tutulmuştur. Böylece ileride bu konuda yatırım yapmayı planlayan yatırımcılara fikir verecektir. Bir ilk olması açısından genleşmiş kil agregası üretiminin bütün adımları ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Önerilen tesisin kurulu gücü 1007,5 KW ve tesisin kurulum maliyeti ise 6.570.000 \$ olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Genleşmiş kil, hafif agrega, üretim tesisi, maliyet analizi

ABSTRACT There is no expanded clay aggregate production and consumption as well as absence of clay technology in Turkey. Therefore, the design of a commercial plant where it will be installed is crucial for Turkey. In this study, it has been proposed a design of the production plant by considering Turkey and the world current circumstances. Despite being some similarities between the production methods used in the proposed plant and the methods applied in developed countries, it has been designed as an original plant based on the experiences gained from experimental data. All stages in the building up a plant have been considered. Therefore, the proposed plant will give an idea to the investors planning to make investment on this sector. Since the study is a unique, all stages of the expanding clay aggregate production have been considered in detail. Installed capacity and the initial cost of the plant have been calculated as 1007,5 KW and \$ 6.570.000, respectively.

Keywords: Expanded clay, lightweight aggregate, production plant, cost analysis

1 GİRİŞ

Genleşen kiler, hafif yapı malzemesi yapımında kullanılmakta olup, bu özellikleri ile bina üzerindeki ölü yüklerinin azaltılmasında, basınç dayanımlarının yüksek oluşu nedeniyle köprü ve tünel inşaatlarında, gözenekli yapısından dolayı ise ısı ve ses yalıtımı sağladığı için enerji tasarrufunda da önemlidir. En büyük avantajları, istenilen

miktar ve boyutlarda, teknik açıdan çok değişik taleplere cevap verecek şekilde üretilebilmeleridir (Özgüven, 2009).

Bazı üreticiler, yapısal olarak güçlendirilmiş beton veya ön gerilmeli beton üretiminde kullanılmak üzere bazı özel hafif agrega türleri üretmektedirler. Ancak hafif agregaların dayanımı, yoğunluk arttırılmak

suretiyle iyileştirilebilmektedir (Şener, 1999; Anon, 2000).

Uygun hammadde ve teknoloji seçimiyle birlikte istenilen agrega boyutunda ve özelliklerinde, değişik miktarlarda malzeme üretimine imkân verebilmesi ve farklı tüketim alanlarında kullanılabilmesi genişmiş kil agregalarının en önemli üstünlüğüdür. Aynı zamanda yüksek basınç direncine sahip olan bu malzemeler, beton yapılar da çok rağbet gören hafif bir katkı maddesi haline gelmiştir (Anon (a), 2005).

İnşaat sektörünün önemli sorunlarından biri olan, bina yükünün azaltılabilmesi için günümüze kadar çok çeşitli malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin hafif olmasının yanı sıra, bu malzemelerde; yük taşıma, ateşe dayanımı, ısı ve ses yalıtımı gibi özellikler de aranmıştır. Bu özelliklere yanıt veren ve inşaat sanayinin gelişmesi ve modern tekniklerin ortaya çıkması ile günümüzde yüksek dayanım, büyük boyutlu hafif bileşenlerin kullanılmasını zorunlu kılmıştır (Çerçi ve Erten, 1997).

Hafif yapı malzemeleri içinde basınca dayanımı en yüksek olan malzemelerden biri genişmiş kildir. Bu özelliğinden dolayı inşaat sektöründe önemli bir yeri vardır. Yapılan araştırmalar, genişmiş kilden imal edilmiş yapı parçaları kullanıldığı takdirde, inşaatlarda kullanılan demirden %15-20 oranında tasarruf edilebileceğini göstermiştir (Özgüven, 2009).

Diğer önemli nokta ise hafif yapı malzemeleri kullanılan binaların ısıtma ve soğutma giderlerinde %50'lere varan enerji tasarrufu sağlanmasıdır. Pomza, perlit, gazbeton, vermikülit vb. hafif yapı malzemelerini ithal ederek kullanan İsveç veya Norveç gibi soğuk iklime sahip ülkelerde bile bir konutun ısıtma maliyeti Türkiye'deki eşdeğer konutun ısıtma maliyetinin yarısından azdır. Bu çarpıcı örnek ısı ve enerji tasarrufu yönüyle de konunun önemini ortaya koymaktadır (Doğan ve Şener, 2004).

Günümüzde inşaat sektöründe hafif malzemelerin kullanılmasında giderek bir artış görülmektedir. Hafif malzemelerin ucuz olmaları, teknoloji ithali ve büyük yatırımlar gerektirmemeleri, başta ısı yalıtımından sağlayacağı enerji tasarrufu olmak üzere işçilik, demir ve kereste tasarrufu vb. bu konuda önemli avantajlar olarak gösterilmektedir (Çerçi ve Erten, 1997).

Bu çalışmada, üstün özelliklere ve geniş kullanım alanına sahip genişmiş kil agregalarının üretimine yönelik olarak bir tesis tasarımı yapılmıştır. Yapılan tesis tasarımı gelişmiş ülkelerdeki tesislere benzemekle birlikte, ülkemiz hammaddeleri üzerine yapılan yoğun deneyler göz önünde tutularak alternatif olarak hazırlanmıştır.

2 GENLEŞEN KİL ÜRETİM YÖNTEMLERİ

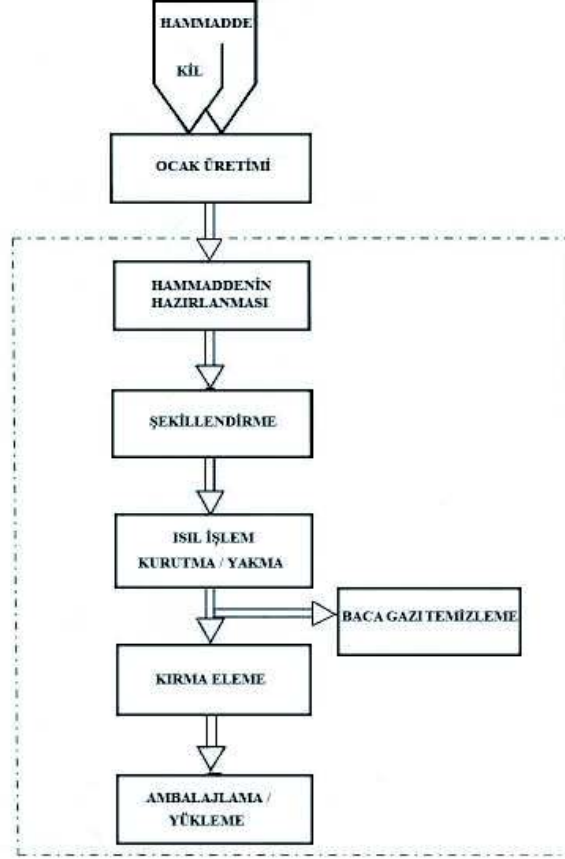
Genleşmiş kil agregasının hangi yöntemle üretileceği, tesiste kullanılacak makine ve ekipman seçimini doğrudan etkileyecektir. Bu nedenle bu çalışmada kullanılan üretim yöntemi açıklanarak tesis ile ilgili önemli bilgiler ortaya konmuştur.

Genleşen kil üretimi, ocaktan üretim, hammaddenin hazırlanması, şekillendirme, ısıtma işlemi (kurutma ve yakma), çıkan ürüne yapılan işlemler, ürünün geri kazanılması ve taşıma için hazırlama (torbalama, yükleme) adımlarını içermektedir. Genleşen kil agregalarının üretiminin şematik görünümü Şekil 1'de verilmiştir (Anon (b), 2005).

2.1 Şekillendirme

Genleşen kil agregalarının üretiminde aşağıdaki şekillendirme teknikleri kullanılmaktadır:

- Granülasyon (taneleme),
- Peletleme (topaklaştırma),
- Kurutma fırınında şekillendirme (Bu



Şekil 1. Genleşen kil agrega üretiminin şematik görünümü (Anon (b), 2005)

değişken, yüksek su içerikli killeri için kullanılmaktadır).

Takip edilen mekanik prosesler ve homojenleştirme, pan öğütücü (pan mill), çift helezonlu karıştırıcı ve yoğuruculardır (kneaders). Yumuşak killeri döner kurutucuya yerleştirilmiştir.

Kurutma fırınına bağlı olan zincirler, çapraz kollar ve plakalar, kırılmış kil parçacıklarını, döner hareketler ile küresel şekle getirmektedir. Kil parçacıklarının boyutu düşürülmekte, böylece aynı zamanda küçük kil küreleri bant genişliği parametresi içinde, fırındaki döner hareket ile şekillenmektedir.

Taneleme için hammaddenin gerekli inceliğinin yaklaşık 300 µm olması gerekmektedir. Taneleme bölümünde, su enjekte edilmekte ve tanelemeye yardımcı olacak maddeler de genellikle eklenmekte ve malzeme küresel şekle döndürülmektedir. Genellikle çanak taneleyicileri (dish granulator) kullanılmaktadır. Tozlaştırılmış kil su eklemesi ile eğik çanak taneleyicisine (slanting dish granulator) beslenir. Çanağın döner hareketi, küresel tanelerin oluşmasına neden olmaktadır. Boşaltım, çanağın alt tarafından olmaktadır ve döner hareketin taneleme etkisi olmaktadır. Uygun reaktifler ile eklenmiş suyun yüzey gerilimi düşürülmektedir. Dönüş hızı ve çanağın

eğimi, yüksekliği ile hammaddeye bağlı olarak tane boyu değişebilmektedir. Bunun için gerekli karakteristikleri elde edebilmek için bu parametreler ile ayarlama yapılır (Anon (b), 2005).

2.2 Isıl İşlem Teknolojisi

Hammaddenin cinsi ve gerekli ürün özelliklerine uyacak basit ve esnek sistemler geliştirmek için fırın tasarımları yapılmaya başlanmıştır. Ayrı ısı bölümleri için farklı transfer zamanları ile değişen yakma ve hava kontrolü elde etmek bunun ilk yoludur. Düşük birim ağırlıklı genleşen kil için, fırının yaklaşık 400 °C'ye ısıtıldıktan sonra, sıcaklık çok çabuk şekilde proses sıcaklığına çıkarılması gerekmektedir. Yüksek birim ağırlıklı, dayanımı yüksek genleşen kil için ise, sıcaklık çok daha yavaş şekilde proses sıcaklığına yükseltilmelidir. En uygun prosedür için, ön ısıtıcılar, gerçek genleştirme fırınlarının hemen önüne yerleştirilmelidir. En çok kullanılan ön ısıtıcılar tamburlu ön ısıtıcılar (drum pre-heater). Tekrar soğutma cihazları; tambur, ızgara ya da kutulu (hopper) soğutucular, en sık kullanılanlarıdır.

Tesisin ısı dengesinden dolayı, soğutucudan çıkan gaz çoğu zaman tamamen ısıl prosese tekrar verilmektedir. Modern tesislerde bulunan sadece fırın tipi ise yatay döner fırınlardır. Yatay döner fırınlarda, genleşen kil üretmek için genellikle akış tersi usulü işletilmektedir. Malzeme ve ısıtma hareketleri ters yönlerden olmaktadır. Malzeme, fırının soğuk tarafına beslenmektedir. Tamburun eğimi ve fırının dönüşü ile malzeme fırının yüksek sıcaklık zonuna ve çıkışa iletilmektedir. Tanelerin birbirlerine yapışmasını önlemek için, fırınlara uygun şekilde yerleştirilen asma zincirler bulunmaktadır. Fırın boyutları kullanılan tekniğe bağlı olarak değişmektedir. Tüp uzunluğu 4-80 m arasında değişmektedir. Çap 1-4,5 m arasında değişmektedir. En çok kullanılan yakıtlar mazot, kömür, kömür tozu ve mazot

karışımı ya da gazdır. Sistem tasarımının amacı, termal dengenin en uygun hale getirilmesi, geniş sıcaklık dağılımı ve ısıtma sıcaklığının seçimidir (Anon (b), 2005).

2.3 Eleme ve Kırma

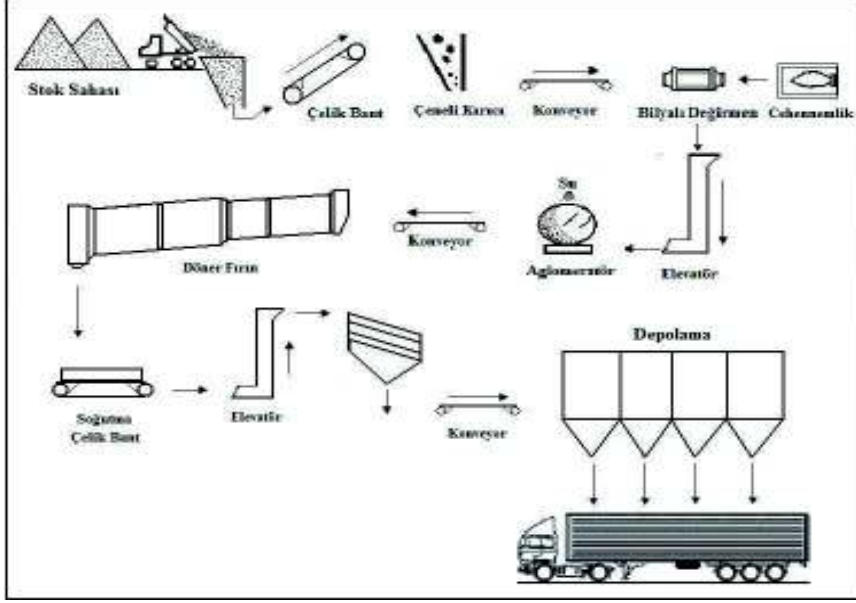
Genleşen kil agrega üretiminde, ısıl işlem prosesi sonrasında, agregalar eleme ve kırma prosesleri ile istenilen tane ve kalitede elde edilmektedir. Kuru eleme ve kum kırıcılar genelde kullanılmaktadır.

3 GENLEŞMİŞ KİL AGREGASI ÜRETİM TESİS PLANLAMASI

Genleşen kil agregalarının üretiminin yapılacağı tesisin tasarımı, genleşen kil üretmeyen ve kullanmayan ülkemiz için çok önemlidir. Bu çalışmanın önemli bir adımı da ileride kurulacak olan genleşmiş kil agregası üretim tesislerinin alt yapısını oluşturacak alternatif üretim planlarının yapılmasıdır. Böylece üretim için kullanılacak makine ve teçhizatın nasıl olması gerektiği ile ilgili önemli bir bilgi alt yapısı oluşturacaktır.

Hazırlanan tesis planı ülkemiz ve dünya koşulları göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Gelişmiş ülkelerde uygulanmakta olan üretim yöntemlerine benzemekle birlikte yapılan genleştirme çalışmalarından elde edilen tecrübelerle özel olarak tasarlanmıştır (Özgüven, 2009). Ankara – Kalecik kilinde elde edilen genleşme koşulları göz önünde tutularak 350 kg/m³ birim ağırlığında olan ve 1150°C'de üretim düşünülmüştür. Aşağıda bu sistem detaylı olarak izah edilmeye çalışılmıştır. Hazırlanan tesis için temel alınan bazı değerler şöyledir:

Saatlik Üretim Kapasitesi	: 20 ton
Günlük Çalışma Süresi	: 16 saat
Yıllık Çalışma Süresi	: 300 gün
Yıllık Üretim Kapasitesi	: 96.000 ton (211.200 m ³)
Çalışan İşçi Sayısı	: 35 kişi



Şekil 2. Genleşen kil agregası üretim tesisinin akım şeması (Özgüven, 2009)

Şekil 2’de üretim tesisinin akım şeması verilmektedir. Bu akım şemasında bulunan makinelerin özellikleri ve kullanım şekilleri kısaca açıklanmaktadır.

3.1 Ekipman ve Özellikleri

3.1.1 Çelik Bant

Kaya kütlelerini kırıcıya taşımak için kullanılmaktadır. İri parçaların kolaylıkla taşınmasını sağlamaktadır.

3.1.2 Çeneli Kırıcı

Sertliği ve aşındırıcılığı ne olursa olsun, her çeşit taşı kırmak üzere dizayn edilmiş birincil ve ikincil kırıcılardır. Hidrolik sistem yardımıyla yapılan ayarları merkezi yağlama sistemleri, yüksek performansları, verimlilikleri ve kapasiteleri ile en gelişmiş kırıcılardandır. Üretim miktarı düşünülerek 60 ton/saat kapasiteli bir çeneli kırıcı üretim tesisi için yeterli olacaktır.

3.1.3 Bant Konveyör

Kırıcıdan çıkan malzemeyi bilyalı değirmene taşıyacak 400 mm genişliğinde ve 8 metre uzunluğunda bant konveyör seçilmiştir.

3.1.4 Bilyalı Değirmen

Kurulumu ve işletilmesi kolay olan bilyalı değirmen üretim tesisinde boyut ufaltma işlemi için seçilmiştir. 100 µm altına öğütme için kullanılacak değirmenin çapı 2,2 m ve uzunluğu 6 metre olarak seçilmiştir.

3.1.5 Cehennemlik

Bilyalı değirmende öğütme işlemi sırasında kurutma için sıcak hava sağlayacak olan cehennemlik seçilmiştir. Cehennemlik brülör vasıtasıyla sıcak hava sağlamaktadır. Sıcak hava doğrudan değirmenin içine verilmektedir.

3.1.6 Elevatör

Malzemenin taşınmasında kullanılan elevatörler bilyalı değirmenden çıkan öğütülmüş malzemeyi şekillendirme için

aglomeratöre taşımaktadır. Bu işlemi sağlayacak kapasitede elevatör 350 mm genişliğinde seçilmiştir.

3.1.7 Aglomeratör

Öğütülmüş hammaddenin, su püskürtülmesi ile birlikte şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Yaklaşık 170 g/kg kil su dozajı olacak şekilde ayarlanmıştır. Aglomeratörün dairesel hareketi ile taneler küresel topaklar haline gelmektedir. Bu aglomeratörün en büyük avantajı farklı boyutlarda ürünlerin tek makine ile elde edilebilmesidir. Ayrıca farklı birim ağırlıklarında malzeme üretilmesini de sağlamaktadır.

3.1.8 Bant Konveyör

Şekillendirilmiş peletleri döner fırına taşımak için kullanılan bant konveyörler 8-10 metre uzunluk ve 600 mm genişlikte seçilmiştir.

3.1.9 Döner Fırın

Uzun ekseni etrafında dönebilen, yatayla 5° açı yapacak şekilde eğimli, içi yatay refrakter tuğla dizili silindir bir fırındır. Malzeme, fırının yüksek kısmından beslenir. Fırının çıkış ucunda bulunan brülörün ürettiği ısıtıcı gazlara doğru ters yönde ilerletilir. Yakma işlemi sonrasında da alt kısımdan alınır. Fırın devrinin tamamlanması için gerekli zaman, uzunluğa, çapa ve fırının dönme hızına bağlıdır. Fırın eğimi de zamanı ve son ürünün kalitesini etkilemektedir. Yakıt olarak, yağ, gaz ya da kömür tozu kullanılmaktadır. Fırının ilk kısım kurutma işlevi görmekte olup, bunu ısıtma zonu izlemektedir. Bu iki zona birden ön ısıtma zonu denilmektedir. Bu zondan çıkan malzeme genişleme zonunda genişlemektedir. Ön ısıtma zonunda fırın gömleğine monte edilmiş brülör ile bu bölümdeki ısı korunmaktadır. Ön ısıtma fırının yüksekliğinin daha az olması nedeniyle kurulum maliyetleri daha azdır (Rohrbach, 1982). Üretimde kullanılacak olan döner

fırın, saatlik üretim olan 20 tonu karşılayacak şekilde 3 metre çapında ve 40 metre uzunluğunda seçilmiştir.

3.1.10 Soğutma

Döner fırından çıkan sıcak malzemenin soğutulması için kullanılan, çelik bant üzerinde genişmiş agreganın taşındığı bir sistemdir. Soğutma için hava üflenmektedir. Soğutma sırasında oluşan sıcak hava, filtreler ile döner fırının ön ısıtma zonuna beslenmektedir.

3.1.11 Elevatör

Elek sistemine farklı boyutlardaki agregaların taşınmasını sağlayacak elevatör 500 mm genişliğinde seçilmiştir.

3.1.12 Elek Seti

Farklı çaplardaki genişmiş kil agregasının, tane boyutlarını 0-8, 8-16 ve 16-32 mm arası olacak şekilde elenmesini sağlamak için seçilmiştir.

3.1.13 Bant Konveyör

Elenen genişmiş killeri depolama için silolara taşıyacak konveyörlerdir. Üç adet 600-750 mm arası genişlikte bant konveyör tesis için seçilmiştir.

3.1.14 Tesisin Kurulu Gücü

Üretim tesisinde kullanılan makinelerin güçleri tesis açısından büyük önem kazanmaktadır. Kurulacak tesisin kurulu gücü Çizelge 1'de hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Üretim tesisinde kullanılan makinelerin güçleri

EKİPMAN	GÜÇ (KW)
Çelik Bant	18
Çeneli Kırıcı	75
Bant Konveyör	5,5
Bilyalı Değirmen	400
Cehennemlik	30
Elevatör	11
Aglomeratör	45
Bant Konveyör	5,5
Döner Fırın	125
Burulör	15
Soğutma Çelik Bant	56
Elevatör	15
Elek Seti	45
Bant Konveyör (3adet)	16,5
Filtreler (2 x 45 Kw)	90
Kompresör Ca55 Atlas Copco	55
TOPLAM KURULU GÜÇ	1007,5

4 ÜRETİM TESİSİNİN İLK YATIRIM MALİYETİ

Hazırlanan üretim tesisinin ne kadara mal olacağını bilmesi yatırımcılar açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bölümde de kurulan sistemin yaklaşık olarak kaç mal olacağı hesaplanmaktadır. Her makinenin bedeli üretici firmalar ile temasa geçilerek belirlenmiştir. Çizelge 2’de makine ve donanımların maliyetleri ayrı ayrı verilmektedir.

Çizelge 2. Üretim tesisinde kullanılan makine ve donanımların maliyetleri

MAKİNE ADI	MALİYET (\$)
Çeneli Kırıcı	75.000
Çelik Bant	45.000
Bant Konveyör	8.000
Bilyalı Değirmen	150.000
Cehennemlik	70.000
Elevatör	60.000

Aglomeratör	100.000
Bant Konveyör	8.000
Döner Fırın	2.000.000
Burulör	70.000
Soğutma Çelik Bant	300.000
Elevatör	100.000
Elek Seti	60.000
Bant Konveyör (3adet)	24.000
Filtreler (2 adet)	160.000
Kompresör CA55	
Atlas Copco	45.000
Elektrik Otomasyon	500.000
Çelik Konstrüksiyon (200tonx2,5\$)	500.000
İnşaat Giderleri	1.200.000
Toplam	5.475.000
Beklenmeyen Giderler (%20)	1.095.000
TOPLAM MALİYET	6.570.000

Çizelge 2’ye göre, genişlen kil agregası üretim tesisinin maliyeti yaklaşık 6,5 milyon \$ olarak hesaplanmıştır. Oluşan bu maliyetin % 30’u döner fırından, % 26’sı inşaat ve çelik konstrüksiyondan kaynaklanmaktadır ki bu da işletme kurulum maliyetinin yarısından fazlasıdır. Sadece bu iki harcama kademesinin maliyetinin düşürülmesi tesis kurulum maliyetini daha da düşürecektir.

5 SONUÇLAR

Ülkemizde genişmiş kil agregalarının üretimi ve tüketimi olmadığı gibi herhangi bir yatırımda söz konusu değildir. Bu nedenle bir ilk olması açısından bu çalışmada, genişmiş kil agregası üretimine yönelik olarak bir tesis planı önerilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Genleşmiş kil agregası üretiminde kullanılacak olan tüm makineler ülkemizden temin edilerek kullanılabilir.
- İhtiyaç duyulacak tüm makineler belirlendiği için yatırım yapacak firmalar için tahmini bir model oluşturulmuştur.

- Tesis kurulu gücü 1007,5 KW olarak hesaplanmıştır.
- Tesis kurulum maliyeti toplam 6.570.000 \$ olarak hesaplanmıştır.

Yukarıda açıklanan üretim tesisinde üretilen agregalarda şu özellikler elde edilecektir:

- Farklı çaplarda genişmiş kil agregası üretimi, kurulan sistem ile mümkün olacak. Ürün çeşitliliği sağlanacaktır. Farklı kullanım alanlarında kullanıma uygun olarak üretilmektedir.
- Ülkemiz hammaddelerine uygun olarak üretilen genişmiş kil agregaları gelişmiş ülkelerde üretilen agregalar ile rekabet edebilecek özelliklerde olacaktır. Genleşmiş kil agregası üretim tesisinin kurulmasının ülkemize getireceği faydalar şunlar olacaktır:
 - Diğer hafif agregalara göre birçok yönden üstün özellikleri bulunan hafif agrega türü ülkemizde üretilen ve özellikle de yapılarda kullanılmaya başlayacaktır.
 - Yapılarda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında kullanılacağı için depremlerin oluşturacağı zararları en aza indirecektir. Isı yalıtımı özelliği nedeniyle de enerji tasarrufu sağlayacak ve böylece ülkemize önemli bir kaynak dolaylı olarak oluşturacaktır.
 - Ülkemizde büyük rezervler halinde bulunan genişmiş kil yatakları ekonomiye kazandırılacaktır.
 - Genleşmiş kil sahalarının değerlendirilmesi ve üretim tesislerinin kurulması ile oluşturulacak işgücü istihdamı, yan sanayiler ile daha da artacaktır.
 - Kaliteli genişmiş kil agregası üretimi ile yurtdışındaki firmalar ile rekabet ederek ihracat yapılacaktır.

Genleşmiş kil agregasının kullanılması ile güvenli, sağlıklı ve konforlu yapıların yapılması sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- Anon, 2000. A Technical Report on The Lightweight Expanded Clay Aggregates (LECA), ESCSI, USA, 125.
- Anon(a), 2005. Yapı malzemeleri - Genleşen Kiler, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. 69-73.
- Anon(b), 2005. Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry, European Commission Directorate General Joint Research Center, Draft Reference Document, 253.
- Çerçi, S. ve Erten, E., 1997. Hafif Beton Olarak Pomza, I. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 103-107.
- Doğan, H. ve Şener, F., 2004. Hafif Yapı Malzemeleri (Pomza-Perlit-Ytong-Gazbeton) Kullanımının Yaygınlaştırılmasına Yönelik Sonuç ve Öneriler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni, 2004(1), 51-53.
- Gündüz, L., Şapcı, N., Bekar, M. ve Yorgun, S., 2006. Genleşmiş Kilin Hafif Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Kibited, 2, 43-49.
- Özgüven, A., 2009. Genleşen Kil Agregası Üretimi ve Endüstriyel Olarak Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 307.
- Rohrbach, H. J., 1982. Production of Expanded Clay and Shale, United States Patent, Patent No: 4,342,554, 6.
- Şener, F., 1999. Yalıtımlı Hafif Yapı Hammaddeleri, Enerji Tasarrufunda Jeotermal Enerjinin ve Yalıtımlı Hafif Yapı Malzemelerinin Önemi Sempozyumu, MTA, Ankara, 31-47.

Trona Mineralinden Soda Külü Üretimi *Soda Ash Production of Trona Mineral*

Ö.Bilgin

Şırnak Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak

ÖZET Trona, doğal soda külü üretiminde; hammadde olarak kullanılan, soda mineralidir. Soda külü üretimi; doğal ve sentetik yöntemlerle yapılmaktadır. Her iki yöntemde de yoğunluklarına göre "hafif ve ağır" soda külü olmak üzere iki tür üretilmektedir. Hafif soda, deterjan ve çeşitli kimyasalların üretiminde, ağır soda ise cam endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sentetik soda külü üretimi sonucunda açığa çıkan sıvı artıkların klörür içermesi ve katı artıkların da zararlı maddeler içermesi, çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Çevre ve maliyet açısından incelendiğinde; sentetik soda külü üretimine göre, doğal soda külü üretiminin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada; Ankara-Beypazarı'ndan alınan trona numunesinin hammaddesel özellikleri belirlenmiş ve laboratuvar ortamında trona mineralinden doğal soda külü üretimi gerçekleştirilmiştir.

ABSTRACT Trona is a soda mineral that used as a raw material for producing of soda ash. Producing of soda ash is made natural and synthetic methods. In both methods, produced two types of soda ash by densities "light and heavy". Light soda, in producing detergent and various chemicals, heavy soda is widely used in the glass industry. The liquid remnants of synthetic soda ash production contain chloride and solids contain harmful substances therefore cause pollution. The importance of natural soda ash production comes into prominence when investigate in the way of environment and costs of synthetic soda ash production. In this study; The raw material properties of trona sample is determined was taken from Ankara-Beypazarı and natural soda ash production from trona mineral is performed in laboratory.

1 GİRİŞ

Trona formülü $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ şeklinde olup, monoklinal sistemde kristalleşen, doğal olarak oluşmuş hidrat sodyum seskikarbonatın saf olmayan şeklidir. Kimyasal literatürde "sesque karbonat", "urao" veya "trona" adıyla bilinmektedir. Cevherin içerdiği organik maddeye bağlı olarak rengi kahverengiden koyu sarıya kadar değişmektedir. Saf numunelerinde ise renk beyazdan şeffafa kadar değişmektedir. Yarı saydam veya opak (ışığı geçirmeyen) olarak izlenebilmektedir.

Mohs ölçeğine göre sertliği 2,5-3,0'tür. Yoğunluğu 2,11-2,17 g/cm³ olup, tek yönde klivaj (tabaka ya da laminasyon) göstermektedir. Saf trona % 70 Na_2CO_3 içermektedir. Suda çözünebilmektedir (15 °C' de 14/100g çözücüde ve 33 °C'de suda çözelti ağırlığının yaklaşık %30'u çözünebilmektedir), asitte köpürmektedir ve ısının etkisi ile Na_2CO_3 'e dönüşmektedir[7]. Suda kolay eridiği için tabiatta mostra vermeyen trona minerali genellikle diğer madenlerin aranması sırasında tesadüfen bulunmaktadır. Bir ton soda külü üretmek

için 1.8 ton trona gerekmektedir. Örneğin, 1 ton cam üretimi için ise 200 kg soda külüne ihtiyaç duyulmaktadır [1,5,6]. Tronadan elde edilen soda külü, Na_2CO_3 , beyaz, kristalin, kuvvetli alkalın reaksiyonlarla higroskopik bir tozdur. Yoğunluğuna göre; ağır, hafif, dökme, tabii, sentetik soda külü olarak sınıflandırılmaktadır.

Soda külü; cam sanayinde düz cam, cam kap, fiber cam ve diğer camların üretiminde, kimya sanayinde çeşitli maddelerin üretiminde (sodyum tripolyphosphate, sodyum silikat ve bikarbonat, sodyum kromat ve sodyum bikromat, sodyum karbonat peroxhidrate, sodyum seskikarbonat, sodyum hexacyanoferrate), sabun ve deterjan sanayinde, su sertliğini gidermede, baca gazı desülfürizasyonunda, selüloz ve kâğıt sanayinde, alümina üretiminde, sondaj çamurlarında, galvaniz kaplama banyolarında, kurşun rafinasyonunda, bakır flotasyon konsantrelerinden telleryum'un geri kazanılmasında, rafine edilmiş diatomit üretiminde, fotoğrafçılıkta, brominenin üretiminde katran distilasyonunda, hidrojen sülfidin geri kazanılmasında, tekstil sanayinde, döküm kumlarında, kullanılmaktadır. Cam endüstrisi dünya soda külü tüketiminde % 50' lik bir payla en önemli kullanım alanı durumundadır. Bunu % 21 gibi bir payla kimya sanayi takip etmektedir[3].

2 SODAKÜLÜ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

2.1 Sentetik Soda Külü Üretim Yöntemleri

Dünya'da ve Türkiye'de kullanılan soda külünün büyük bir kısmı (3/4'ü) yapay yollardan yani sentetik olarak üretilmektedir. Sentetik soda külü üretiminde kullanılan başlıca yöntemler Solvay ve Leblanc yöntemleridir. Solvay yönteminde, kireç taşıdaki karbon iyonları NaCl tuzunun sodyum iyonları ile birleştirilmektedir ve soda külü (Na_2CO_3) elde edilmektedir. Leblanc yönteminde ise kaya tuzu sülfat asidi ile sodyum sülfata, bu da kömür ile sodyum sülfüre indirgenerek kireçtaşı ile Na_2CO_3 'e dönüştürülmektedir ve soda külü elde edilmektedir. Bu yöntemlerin her ikisi de maliyet ve çevre kirliliği açısından birçok yönden dezavantaja sahiptir. Sentetik soda külü üretiminde hem klor açığa çıkmakta

hem de kömürün yakılmasıyla hava kirliliği meydana gelmektedir[2,4].

2.2 Tronadan Soda Külü Üretim Yöntemleri

Tronadan soda külü üretimi 3 farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bunlar; monohidrat yöntemi, seskikarbonat yöntemi ve alkali ekstraksiyon yöntemidir.

2.2.1 Monohidrat Yöntemi

Trona cevherinden doğal soda külü üretim yöntemlerinden birisidir. Bu yöntemde trona cevheri $163-240^\circ\text{C}$ sıcaklıkta döner fırında kalsine edilmektedir ve ağır soda külü ile yan ürün olarak CO_2 ve H_2O elde edilmektedir. Kalsine edilen malzeme su verilerek çözündürülmektedir. Çözünmeyen kısımlar (empüriteler) çöktürülerek veya filtre edilerek çözülden ayrıştırılmaktadır. Elde edilen çözeltinin bir kısmı buharlaştırılarak sodyum karbonat monohidrat ($\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$) kristalleri çöktürülmektedir. Sodyum klorür ve sodyum sülfat gibi çözünen diğer empüriteler ise çözeltide kalmaktadır. Kristaller sıvı santrifüj işlemi ile empüritelerden ayrılmaktadır. Daha sonra sodyum monohidrat kristalleri 150°C 'de dehidratasyona tabi tutulmaktadır. Daha sonra soğutulmaktadır ve satışa hazır hale getirilmektedir[7].

2.2.2 Seskikarbonat Yöntemi

Bu yöntemde; kırılmış trona bir seri çözücü tankından geçirilir, doymuş ana çözelti haline getirilir, berraklaştırılır, filtrelenir ve konsantre elde edilir. Seskikarbonat vakum kristalizatörlerinde evaporasyona tabi tutulmaktadır ve 40°C 'ye kadar soğutulmuş olarak çöktürülmektedir (Ekipmanların korozyondan korunması düşük konsantrasyonlu sülfid iyonlarıyla kontrol edilmektedir). Çökelen seskikarbonat kristalleri seperatörlerle ana çözeltiden ayrılmaktadır ve çözelti tanklarına beslenmektedir. Seskikarbonat kristalleri 200°C ' deki döner kalsinasyon fırınlarında ayrıştırılarak sodyum karbonat elde edilmektedir. Susuz soda külü hafif ve orta

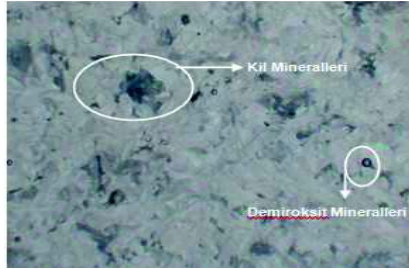
yoğunlukta üretilmektedir ve ağır soda külü eldesi için hidratlama sonrası kalsinasyona tabi tutulmaktadır ve soğutulmaktadır. Böylece nihai ürün (ağır soda külü) elde edilmektedir[7].

2.2.3 Alkali Ekstraksiyon Yöntemi

Bu yöntemde; yeraltına belirli bir oranda çözücü gönderilmektedir. Daha sonra trona cevheri bulunduğu yerde liç edilmektedir ve yer üstüne çıkartılması sağlanmaktadır. Trona minerali içindeki sodyum bikarbonatın sodyum karbonata dönüştürülmesi, bu yöntemde kalsinasyon yerine çözücü sisteminin içerdiği sodyum hidroksit ile sağlanmaktadır. Yeraltından çıkartılan çözelti klasifikatör ve tüknerlerden geçirilmesine gerek duyulmadan direkt olarak filtrelerden geçirilerek kristalizatörlere beslenmek suretiyle monohidrat prosesinde olduğu gibi sodyum karbonat elde edilmektedir[7].

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ankara'nın Beypazarı trona maden ocağından alınan trona cevheri örneği temsil edecek şekilde alınmış ve iri boyutlara ayrılan trona numunesi ince kesit analizine tabi tutulmuştur. İnce kesitlerin hazırlanması esnasında tronanın suda çözünmesi nedeniyle, su yerine mazot kullanılmıştır. Şekil 1'de tronanın ince kesit görüntüsü verilmektedir. Buna göre; kil mineralleri ve demir oksit mineralleri gösterilmektedir.



Şekil 1. Trona numunesinin ince kesit görüntüsü

Tablo 1. Trona numunesinin elek analize göre tane boyut dağılımı

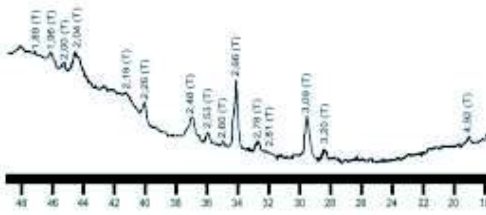
Tane Boyutu (mm)	Ağırlık (%)	Σ Elek Üstü (%)
+3.35	27.80	27.80
-3.35+2	25.50	53.30
-2+1	16.40	69.70
-1+0.5	11.30	81.00
-0.5+0.2	8.90	89.90
-0.2+0.75	6.40	96.30
-0.75+0.38	2.50	98.80
-0.38	1.20	100.0

Tablo 2. Trona numunesinin tane boyutuna göre karakteristik özellikleri

Tane Boyutu (mm)	Binoküler Mikroskop Altındaki Karakteristik Özellikleri
+3.35	%60'ı beyaz saf halde,%40'ı ise hafif mat gri tonda trona taneciklerinden oluşmuştur.
-3.35+2	%75'i saf beyaz tanelerden, %25'i ise mat noktasal bağlı tanelerden oluşmuştur.
-2+1	%85'i beyaz renkli, geri kalanının %13'ü mat renkli tanelerden ve %2'si ise safsızlıklardan (çoğunluğu kil topağı) oluşmuştur.
-1+0.5	%90'ı beyaz serbest taneciklerden, %10'u mat ve birbirine kenetli tanelerden oluşmuştur.
-0.5+0.2	%90'ı beyaz, %5'i kristal suyunu kaybetmiş parlak beyaz yapıda topaklaşmış tanelerden (suda ilk eriyecek olan) oluşmuştur
-0.2+0.75	Tüm taneler serbest olup, %93'ü kristal haldeki trona %5'i suyunu kaybetmiş trona ve %2'si ise serbest gang mineralidir.
-0.75+0.38	%90'ı kristal, %8'i amorf parlak beyaz trona, %2'si pirit baskın olmak üzere mika ve demiroksit minerallerinden oluşmuştur.
-0.38	%99 bembeyaz trona kristali, %1'lik kısım pirit baskın (%0.5) kil, demiroksit ve mika minerallerinden oluşmuştur.

Tablo 1' de trona numunesinin elek analize göre tane boyut dağılımı ve tablo 2'de trona

numunesinin tane boyutuna göre karakteristik özellikleri verilmektedir. Boyut dağılımına göre yüzde dağılımları ve her bir boyutun binoküler mikroskop altında karakteristik özellikleri incelenmiştir. Şekil 2’de trona örneğinin XRD eğrisi çizilmiştir ve numunede sadece trona (T) mineraline rastlanmıştır.



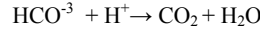
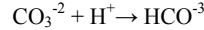
Şekil 2. Trona numunesinin XRD grafiği (T: Trona minerali)

Boyutu 5 mm’nin altında olan trona minerali, bilyalı değirmende kademeli olarak öğütülmüş ve tamamı 0.2 mm’nin altına indirilmiştir. Daha sonra Na₂CO₃, NaHCO₃, CaCO₃, MgCO₃, Fe₂CO₃, SiO₂ ve S kimyasal analizlerine tabi tutulmuştur. Tablo 3’ de trona içerisindeki Na₂CO₃ ve NaHCO₃ içerikleri tespiti için gerekli şartlar sıralanmaktadır. Tablo 4’de trona numunesinin kimyasal analiz sonuçları saptanmıştır. Kimyasal analizler; üç farklı yöntemin uygulanması ile yapılmıştır. Uygulanan yöntemler sırasıyla Atomik adsorpsiyon cihazı, Eshka yöntemi ve potansiyometrik titrasyon yöntemidir. CaCO₃, MgCO₃, Fe₂CO₃ ve SiO₂ analizlerinde Perkin Elmer 1100 B Model Atomik Adsorpsiyon Spektrofotometre (ASS) cihazı; S (kükürt) analizinde Eshka yöntemi; Na₂CO₃ ve NaHCO₃ (trona mineralleri) analizlerinde potansiyometrik titrasyon yöntemi uygulanması ile tespit edilmiştir. Titrasyon işleminde dönüm noktasının tespiti için indikatör olarak bromkrozel yeşili ile metil oranji karışımı kullanılmıştır. Birçok kaynakta dönüm noktalarının farklı yöntemlerle tespit edilmesine rağmen Beypazarı tronasında dönüm noktası belirlenememiştir. Bu yüzden, bromkrozel yeşili ve metil oranji

belirli oranlarda (1:2) karıştırılması ile dönüm noktaları tespit edilebilmektedir. 0.2 M’lık HCl titrasyonu ile birinci (beyaz) ve ikinci (portakal rengi) dönüm noktaları sırasıyla 4.70 ve 14.20 ml HCl sarfiyatlarıyla elde edilmiştir. Daha sonra aşağıdaki formülde değerler yerine yazılarak Na₂CO₃ ve NaHCO₃ içerikleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak Na₂CO₃ ve NaHCO₃ içerikleri sırasıyla % 46.90 ve % 35.42 bulunmuştur. Buna göre; trona içerisindeki toplam soda minerali % 82.32 olarak tespit edilmiştir[1]. Tablo 3’ de trona numunesi Na₂CO₃ ve NaHCO₃ miktarlarının tespiti için gerekli şartlar gösterilmektedir.

$$\% \text{Na}_2\text{CO}_3 = \left[\frac{\text{MHCL (mol/l)} \times \text{S1 (ml)} \times 100 \times \text{MA (g/mol)} \times 10^{-3} \times \text{F}}{\text{m} \times 10/250} \right]$$

$$\% \text{NaHCO}_3 = \left[\frac{\text{MHCL (mol/l)} \times (\text{S2} - 2\text{S1}) \times \text{MB (g/mol)} \times 10^{-3} \times \text{F}}{\text{m} \times 10/250} \right]$$



Tablo 3. Trona numunesi Na₂CO₃ ve NaHCO₃ miktarlarının tespiti için gerekli şartlar

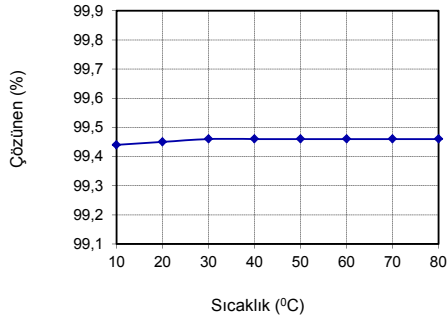
MHCL	0.2 mol/l
S1 (ml)	Birinci dönüm noktası için harcanan asit miktarı (pH≈ 8.2-8.5)
S2 (ml)	İkinci dönüm noktası için harcanan asit miktarı (pH≈ 4-4.3)
MA (g/mol)	Na ₂ CO ₃ ’ün molekül ağırlığı
F	0.96 M HCl faktörü
m (gr)	Trona miktarı (5 gr)

Tronanın su içeriği tespitinde ksilol distilleme metodundan faydalanılmıştır. Bu deneye göre trona örneğinin % 16.18’inin kristal sudan oluştuğu saptanmıştır.

Tablo 4. Trona numunesi kimyasal analiz sonuçları

Kimyasal Analiz	(%)
Na ₂ CO ₃	46.90
NaHCO ₃	35.42
CaCO ₃	0.11
MgCO ₃	0.18
Fe ₂ O ₃	0.01
SiO ₂	0.18
S	0.04
Kristal suyu	16.18
Diğer (NaCl, Pb,As,Cu vs)	0.98

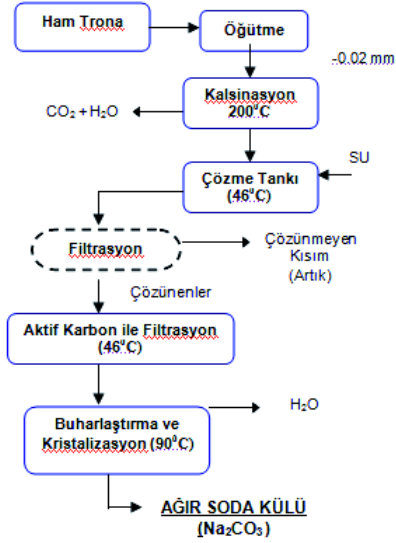
200 °C sıcaklığa ayarlanmış fırında zamana bağlı olarak kalsinasyon ile ağırlık kaybı deneyi yapılmıştır. Trona mineralinin kalsinasyon süresine bağlı % yüzde ağırlık kaybını hesaplamak amacıyla yapılan kalsinasyon deneyinde, 100 gr trona kullanılmış ve 60 dakika sonunda sabit tartımla toplam ağırlığı 69.80 gr bulunmuştur. Buna göre, tronanın kalsinasyon yolu ile su kaybının % 30.20 olduğu tespit edilmiştir[1].



Şekil 3. Trona numunesinin sıcaklığa bağlı sudaki çözünürlüğü

Şekil 3'e göre trona mineralinin sıcaklığa bağlı sudaki çözünürlüğü eğrisi gösterilmektedir. Trona mineralinin sudaki çözünürlüğü oldukça yüksek olup, yaklaşık % 99,45'dir. Ayrıca, çözünürlük sıcaklıkla çok fazla değişmemiş (sıcaklıktan bağımsız) olup, en uygun sıcaklığın oda sıcaklığı olan 25-30 °C olduğu söylenebilir. Her sıcaklıkta çözünmeyen kısım yaklaşık % 0,54 - 0,56 arasındadır. Bu kısım çözünmeyen bazı mika ve demir gibi gang minerallerinden oluşmaktadır. Tronadan doğal soda külü üretiminde monohidrat yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde trona cevheri 200 °C sıcaklıkta klasik fırında kalsine edilmiş ve ağır soda külü ile yan ürün olarak CO₂ ve H₂O elde edilmiştir. Daha sonra kalsine edilen bu malzemeye su verilerek çözündürülmüştür. Çözünmeyen kısımlar (emprüteler) ise filtre edilmiş ve çözüldüden ayrıştırılmıştır. Elde edilen çözelti aktif

karbon ile filtre edilerek diğer emprütelerden ayrılmıştır. Daha sonra sodyum monohidrat kristalleri 90 °C'de buharlaştırma ve kristalizasyon işlemi ile % 99,98 saflıkta ağır soda külü elde edilmiştir.



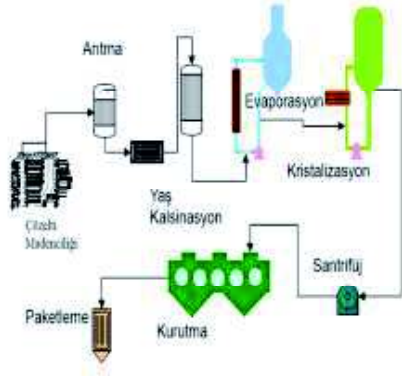
Şekil 4. Trona numunesinden monohidrat yöntemi ile ağır soda külü üretimi akım şeması



Şekil 5. Üretilen ağır soda külünün görüntüsü

Şekil 4'te trona mineralinden monohidrat yöntemi ile ağır soda külü üretimi akım şeması ve Şekil 5'de üretilen soda külünün görüntüsü gösterilmektedir. Üretilen ağır soda külünün yığın yoğunluğu ise 0,97g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Ağır soda külünün dökme yoğunluğu 0,96-1,06 g/cm³ arasında

değişmektedir. Ağır soda külü düşük toz ihtiva eden serbest akışlı bir maddedir ve daha pahalı olmasına rağmen genel olarak toz oranının dezavantaj olarak kabul edildiği cam ve demir çelik endüstrilerinde kuru olarak kullanılmaktadır. Hafif soda külünün ise dökme yoğunluğu 0,51-0,62 g/cm³ arasında değişmektedir. Hafif Soda Külü daha ince taneli ve daha az serbest akışkanlıdır. Düşük ısılarda çabuk çözünme özelliğinden dolayı suda çözünme gerektiren durumlarda kullanılmaktadır.



Şekil 6. Örnek bir tesiste trona üretim akım şeması(1)

Şekil 6'da örnek bir tesiste trona üretim akım şeması gösterilmektedir. Burada yeraltından alınan çözelti içerisindeki istenmeyen safsızlıkların alınması amacıyla çözelti kum filtre ve aktif karbon filtrelerden geçirilmektedir. Stripper kolonunda yaş kalsinasyon işleminden geçirilmektedir ve çözelti içerisindeki sodyum bikarbonat sodyum karbonata dönüştürülmektedir. Yaş kalsinasyon işlemine tabi tutulan çözelti, sırasıyla evaporasyon ve kristalizasyon ünitelerinden geçirilmektedir ve sodyum karbonat monohidrat ($\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$) elde edilmektedir. Sonuç olarak elde edilen nemli ürün, kurutucuda kurutulduktan sonra nihai ürün olarak sodyum karbonat (soda külü) üretilmektedir[3].

4 SONUÇLAR

Yüksek saflıktaki trona numunesi içerisinde kil ve demiroksit minerallerine rastlanırken, tane boyutu küçüldükçe trona numunesinin daha da saflaştığı gözlenmiştir. Sonuç olarak, bir trona numunesinin hammaddesel özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneyler yapılmış ve laboratuvar ortamında basit monohidrat yöntemine göre % 99.98 saflıkta ağır soda külü elde edilmiştir. Dünya soda üretiminin yaklaşık dörtte üçünün sentetik yollarla yapıldığı bilinmektedir. Sentetik soda külünün ekonomik ve çevreye duyarlı tek alternatifini, trona cevherinden elde edilen doğal soda külüdür. Türkiye'de Ankara İli Beypazarı İlçesi Bağözü Köyü sınırları içinde yer alan trona madeninden soda külü üretimi yapılmaktadır. Tesiste ağır soda külü ve sodyum bikarbonat üretimi için kullanılan hammadde trona çözeltisidir. Tesisteki trona çözeltisi ihtiyacı 1060 ton/saat (8.395.200 ton/yıl) olup, çözelti konsantrasyonu Na_2CO_3 bazında %15'tir. Tesisin ihtiyacı olan trona çözeltisi, mevcut çözelti madenciliği kuyularından sağlanmaktadır. Beypazarı trona yatağı, dünya trona yatakları, rezerv büyüklüğü ve tenör bakımından değerlendirildiğinde, ABD ve Kenya'daki yataklardan sonra üçüncü büyük trona yatağıdır. Bunlar da dikkate alındığında; Beypazarı trona yatağının önemi ortaya çıkmaktadır. Trona cevher madenleri en iyi şekilde değerlendirmeli ve geleceğe dönük planlarla araştırmalarına devam etmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Bilgin, Ö. 2005 "Beypazarı trona cevherinin hammaddesel özelliklerinin belirlenmesi ve zenginleştirilmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, s.62.
- [2] Demirbaş, A. 2002 "Production of sodium carbonate from soda ash via flash calcination in a drop tube furnace", Chemical Engineering and Processing, Vol.41, p.2199-2204.
- [3] Eti Soda A.Ş., 2010, "Soda Külü ve Sodyum Bikarbonat Üretim Tesisi Kapasite Artışı

- Çevresel Etki Değerlendirmesi Başvuru Dosyası”, s:111 , Ankara.
- [4] Kostick, D.S. (1998) “Soda ash”, Minerals Engineering, p.54-56.
- [5] Nasün-Saygılı, G. ve Okutan, H. (1996) “Application of the solution mining process to the Turkish trona deposit”, Hydrometallurgy, Vol.42, pp.103-113.
- [6] Nasün-Saygılı, G. (2002) “Effect of temperature on dissolution of Turkish trona”, Hydrometallurgy, Vol.68, pp.43-49.
- [7] Sayın G., Aygören E., Olcaysoy İ., 2006, “Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013), Kimya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu, Soda Külü ve Krom Kimyasalları Çalışma Grubu Raporu” Ankara., s.1-27.

Bir Granit Numunesi için Elmas Tel Kesme Yönteminde Kesilebilirlik Abağının Geliştirilmesi *Development of Cuttability Abacus for Granite Sample in Diamond Wire Cutting*

E. S. Kanbir

Ahi Evran University Kaman MYO, Mining Technology Programme, Kırşehir, Turkey

Y. Özçelik

Hacettepe University, Department of Mining Engineering, Ankara, Turkey

ÖZET Bu çalışmanın amacı, bir granit numunesi için Tek Boncuk Test Cihazı kullanılarak optimum çalışma koşullarının belirlenmesi ve kesilebilirlik abaklarının geliştirilmesidir. Kesimlerde kullanılan numuneler, özel olarak tasarlanmış özel bir karotiyer kullanılarak hazırlanmıştır. Kesimler Tek Boncuk Test Cihazı üzerinde 1 kg'lık sabit yük değeri altında dört farklı elmas boncuk devir hızı (1100, 1300, 1500 ve 1700 dev/dak) ve 4 farklı kayaç numune devir hızlarında (150, 175, 200 ve 225 dev/dak) yapılmıştır. Bu iki parametre, arazi koşullarında yapılan kesimlerde temel çalışma parametreleri olan çevresel hız ve kasnak devir hızını yansıtmaktadır. Kesimlerden elde edilen sonuçlar kullanılarak, bir granit numunesi için elmas tel kesme yönteminde kesme hızı ve birim aşınmaya yönelik kesilebilirlik abakları oluşturulmuştur. Bunun için bir istatistiki yazılım olan, Design Expert 7.0 kullanılmıştır. Oluşturulan bu abaklar, doğal taş endüstrisine elmas tel kesme makinelerinin daha verimli bir şekilde kullanılmaları için katkıda bulunacaktır.

ABSTRACT The aim of this study is to determine optimum working conditions and to develop cuttability abacuses in diamond wire cutting with single bead test machine for a granite sample. The rock samples used in cuttings were prepared with exclusively designed core drill. Cuttings were performed with single bead test machine at four different rotational speeds of diamond bead (1100, 1300, 1500 and 1700 rpm) and four different rotational speeds of natural stone sample (150, 175, 200 and 225 rpm) with constant load value of 1.0 kg. These two parameters reflect the peripheral speed and hoop rotation of the diamond wire which are the main working parameters in the field. Cuttability abacuses for diamond wire cutting in terms of the cutting rate and unit wear on diamond bead were developed by using a Statistical Software (Design Expert 7.0) for granite sample by using the results. These abacuses would contribute to natural stone industry for more efficient usage of diamond wire cutting machine.

1 INTRODUCTION

During the 1990's, major technological breakthroughs were achieved in granite quarrying. This dimension stone is widely

used in civil architecture as well as in commercial and residential applications.

The value of granite slabs depends on the absence of flaws and cracks. For years, granite blocks were extracted from the rock masses using a technique very similar to contour blasting and smooth blasting i.e., rows of closely spaced holes were drilled into the rock to delimit the blocks, filled with explosives and detonated simultaneously. However, this technology has several disadvantages. Therefore, thanks to the developed technology, diamond wire cutting machines were developed with a view to overcoming these drawbacks. These machines have resulted in substantial improvements in productivity, waste reduction and safety, resulting in significant reductions in overall costs. Today, these machines are commonly used in over 90% of natural stone quarries from soft to hard rocks and they have continuously evolved in line with consumers demands. The widespread usage of diamond wire cutting machine in quarries has opened a new era in natural stone quarrying (Özçelik et.al., 2007).

Machines used in the diamond wire cutting method have constant expenses in a granite quarry. Wear on diamond beads during cutting operation, which is the variable expense, is one of the main parameters in the economics of granite cutting with a diamond wire. If the wear on diamond beads is controlled, it decreases the costs of the diamond wire cutting method in the quarry (Özçelik, 1999).

The effective parameters in diamond wire cutting operation may be considered in two main headings as non-controlled and partially-controlled or controlled parameters (Table 1). These are defined as environmental rock parameters (physical, mechanical and mineralogical/petrographical properties) and machine parameters, respectively. All these effective parameters directly affect the cutting rate and the amount of wear occurred on the diamond beads, known as cutting performance in diamond wire cutting method (Özçelik et.al., 2008).

Table 1. The parameters affecting cutting performance in diamond wire cutting method

Fixed Parameters Non-controlled parameters	Partially-controlled or controlled parameters	
	Properties of cutting tools and equipment	Environmental and working conditions
<ul style="list-style-type: none"> • Rock hardness • Rock strength • Water content • Degree of alteration • Discontinuities • Mineralogical properties and textural characteristics 	<ul style="list-style-type: none"> • Machine power • Structure of diamond wire and bead structure • Dimensions of block • Cutting geometry of the wire • Machine vibration • Water consumption • Hoop diameter • Number of beads per meter 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualified personnel • Technique used

Several researchers so far have investigated the variation of wear on diamond bead (Özçelik, 1999; Özçelik et.al., 2008; Cappuzi, 1989; Cook and Smith, 1993; Özçelik et.al. 2007) engine power and wire speed (Hawkins et.al., 1990; Wright, 1992), wire structure (Özçelik, 1999), dimensions of the block to be cut (Berry et.al., 1989; Özçelik and Bayram, 2004), cutting geometry during cutting (Özçelik, 1999;

Özçelik, 2005) and computer modeling of diamond wire cutting (Bortolussi et.al., 1990, Bortolussi et.al., 1994; Özçelik, 2005) with rock properties and its effect on cutting performance. A single bead test machine was developed by Ozcelik (2008). Kanbir (2007) and Ozcelik et al. (2008) investigated the cutting performance parameters in diamond wire with a single bead test machine on real marble and limestone and the relationships

were examined by comparing the results. On the other hand, there has been a few studies performed to investigate the diamond wire cutting for quarrying hard rocks such as

As can be seen from the literature review that there are some important studies on the parameters affecting the cutting performance on soft rocks (real marble and limestone), but until now no research has been done on the determination of the optimum machine working conditions and also development of the cuttability abacuses with respect to unit wear on diamond beads and cutting rate for hard rocks such as granite. For this reason, the purpose of this study is to determine the optimum machine working conditions and also to develop cuttability abacuses for the diamond wire cutting with respect to unit wear and cutting rate for granite sample commercially named as Kaman Grey by using a special statistical program (Design Expert 7.0).

2 WORKING METHODOLOGY

The method used within the scope of this study is shown in Figure 1.

In the studies conducted with single bead test machine, two different parameters were used as the bead motor rotation speed that moves the diamond bead and the motor rotation speed of the marble sample on which the rock to be cut is attached.



Figure 1. The methodology of the study

obtained from field studies.

granite (Biasco, 1993; Cai and Mancini, 1989, Andrisssi et.al., 2005; Hawkins et.al., 1990) and andesitic rocks (Özçelik, 2003).

Bead motor rotation were chosen at the values of 1100, 1300, 1500 and 1700 rpm, marble sample motor rotation speed was chosen at the values of 150, 175, 200 and 225 rpm. While choosing these parameters, machine working parameters implemented on the field with the diamond wire cutting machine were considered. The peripheral speed and the hoop rotation speed on the diamond wire cutting machine correspond to bead motor rotation and rock motor rotation on the single bead test machine. The equivalents of these on fields were put forth by Kanbir (2007) and shown in Table 2.

Table 2. Motor rotation speed of the bead and marble sample rotation speed calculated depending on hoop diameter and rotation speed

HRS (rpm)	BRS (rpm)	Hoop diameter (cm)			
		50	60	70	80
600	1080	173	207	242	276
700	1260	198	239	268	306
800	1440	211	253	296	337
900	1620	230	276	323	369
		SRS (rpm)			

2.1 Introducing Single Bead Test Machine

Making the cutting process suitable to the rock to be cut is possible by detecting the variable parameters correctly. The single bead test machine designed and used in this study was developed in Hacettepe University Department of Mining Engineering (Figure 2)



Figure 2. The general and schematic view of single bead test machine used in the study

This machine (Figure 2) is a cutting machine where the machine parameters that are effective during cutting (vibration, energy used etc.) can be determined and cutting conditions (bead rotation speed, sample rotation speed, cutting rate etc.) can be controlled sensitively.

As it can be seen in Figure 2, test machine has two motors one of which rotates the marble sample (4), the other rotates the diamond bead (8) and a movable mechanism that approaches the diamond bead to the sample to be cut and puts pressure on it (1,2 and 3). While cuttings are performed, both motors are in motion and it is ensured that the diamond bead puts pressure on marble sample by implementing a determined load value. A specifically designed automation program was used in the system for controlling the experimental mechanism and providing the data record during the experiment.

2.2 Workpiece Characteristics

The granite sample commercially named as Kaman Grey was selected for the cutting experiments. The stone samples were prepared as square samples in sizes of 35 cm x 35 cm with a 5 cm thickness and then they were made as samples suitable for the single bead test machine by using specially designed core drill with an inner diameter of 60 mm and an outer diameter of 300 mm. Some physical and mechanical properties of the tested granite are given in Table 3. The physical and mechanical tests were performed in accordance with the procedures suggested by ISRM (1981).

Table 3. Some physical and mechanical properties of the tested granite

Tested Rock	UVW (gr/cm ³)	WA (W/W) (%)	Porosity (%)	Mohs Hardness	UCS (MPa)
Kaman Grey	2.73	0.298	0.806	6-7	139.8

Table 4. Statistical design properties used in the study

Study Type	Factorial	Runs	16
Initial Design	D-optimal, Point Exchange	Blocks	No Blocks
Design Model	2FI		

2.3 Statistical Analysis and Design Summary

Within the scope of this study, Design Expert 7.0, which is a special statistical program, was used for data analysis and for determining the optimum points of sample rotation speed and bead motor rotation speed for Kaman Grey granite sample. Design Expert 7.0 is a widely used program which was developed for the experimental optimization process and which can effectively design the experiments in the most suitable way according to different methods. After making the experiments based on the design selected and entering the results obtained in the program, it derives the most suitable equations for dependent variables (response) and can realize the determination process of the optimum points by means of the derived equations. Imaging the optimum working points and the estimated results obtained as a result of the experiments made on these points is possible with this program. Before initializing the statistical analysis, information that reflects the properties of each variable regarding the factors and response was analyzed. This information is composed of the data such as mean and standard deviation for describing the frequencies about the variables and also definitions of the methods and models to be used in modeling studies. The design properties used in this study are demonstrated in Table 4 and the descriptive statistical data regarding factors and response are shown in Table 5 and 6, respectively.

Table 5. Descriptive statistical data of the factors

Factor Name	Units	Type	Low Actual	High Actual	Mean	Std. Dev.
Sample Rotation Speed (SRS)	rpm	Numeric	150.00	225.00	187.500	27.951
Bead Rotation Speed (BRS)	rpm	Numeric	1100.00	1700.00	1400.000	223.607

Table 6. Descriptive statistical data of the responses

Response Name	Units	Obs	Analysis	Min.	Max.	Mean	Std. Dev.	Model
Unit Wear (UW)	$\mu\text{m}/\text{m}^2$	16	Polynomial	1.34	15.82	5.86	4.71	Cubic
Cutting Rate (CR)	m^2/h	16	Polynomial	0.011	0.11	0.051	0.025	Cubic

In addition to the descriptive statistics, the relationship between unit wear and cutting rate and sample rotation speed were examined at various bead rotation speed values and the results obtained are shown in Figure 3 and 4.

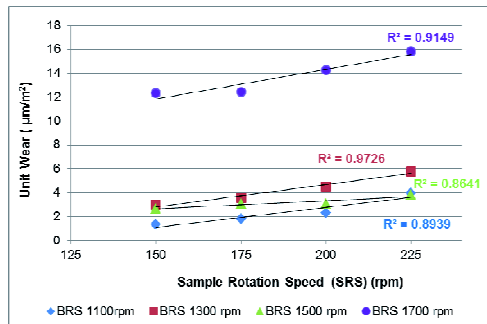


Figure 3. Relationships between unit wear and sample rotation speed at various bead rotation speeds

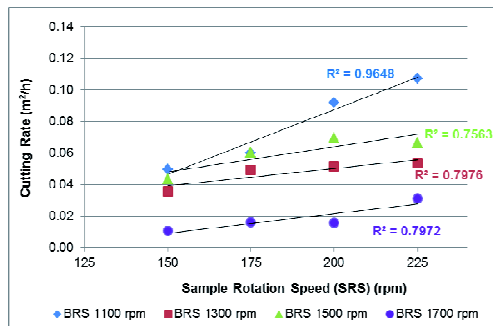


Figure 4. Relationships between cutting rate and sample rotation speed at various bead rotation speeds

The complexity of most scientific mechanisms is such that in order to be able

to predict an important response, a well-known multiple regression model is needed. The model formed for regression analysis is a model involving dependent and independent variables. In such a model, the change in dependent variable is tried to be explained with independent variables. The first phase in forming simple or multiple regression models is to determine the coefficients forming the model and then the statistical test of the validity of the model with variance analysis. The figures demonstrating the results obtained from here are called ANOVA. F value obtained from the figures is the value to be tested for the validity of the general model. F value and the results of ANOVA in regression analysis and in other models show the validity of the model formed.

2.3.1 Statistical Assessment for Unit Wear

Statistical analyses were made for the purpose of estimating unit wear by using sample and bead rotation speed. For this aim, the cubic model for Kaman Grey, which was found to be statistically the most significant in the analysis, were chosen as the most suitable model for estimating the unit wear (Table 7). The validity of the cubic model was tested with variance analysis. The results were presented in Table 8 and 9, respectively. The model based on the regression coefficients given in Table 8 is statistically significant at 99% confidence level ($*P=0.0001 < \alpha=0.01$). The estimation graph of the developed model is given in Figure 5.

Table 7. Results of the statistical analysis for selecting of suitable model for unit wear

Source	R ²	Adjusted R ²	Predicted R ²
Linear	0.6541	0.6009	0.4785
2FI	0.6543	0.5679	0.3177
Quadratic	0.8729	0.8093	0.7148
Cubic	0.9952	0.9880	0.9655

Table 8. The results of the multiple regression analysis for unit wear

Factor	Coef.Estimate	Degree of Freedom	Standard Error
Intercept	2.78	1	0.27
Sample Rotation Speed (SRS)	1.03	1	0.67
Bead Rotation Speed (BRS)	-2.55	1	0.67
(SRS) (BRS)	0.11	1	0.24
(SRS) ²	0.63	1	0.30
(BRS) ²	4.91	1	0.30
(SRS)2(BRS)	0.089	1	0.40
(SRS) (BRS) ²	0.75	1	0.40
(SRS) ³	-0.24	1	0.67
(BRS) ³	8.18	1	0.67

Table 9. The ANOVA of the regression model for unit wear

Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Sq.	F Value	p-value P > F
Model	352.540	9	39.170	138.64	< 0.0001
(SRS)	0.660	1	0.660	2.34	0.1767
(BRS)	4.050	1	4.050	14.33	0.0091
(SRS) (BRS)	0.060	1	0.060	0.21	0.6600
(SRS) ²	1.260	1	1.260	4.45	0.0793
(BRS) ²	76.160	1	76.160	269.55	< 0.0001
(SRS) ² (BRS)	0.014	1	0.014	0.049	0.8315
(SRS) (BRS) ²	0.980	1	0.980	3.48	0.1112
(SRS) ³	0.038	1	0.038	0.13	0.7279
(BRS) ³	42.310	1	42.310	149.74	< 0.0001
Residual	1.700	6	0.280		
Cor Total	354.240	15			

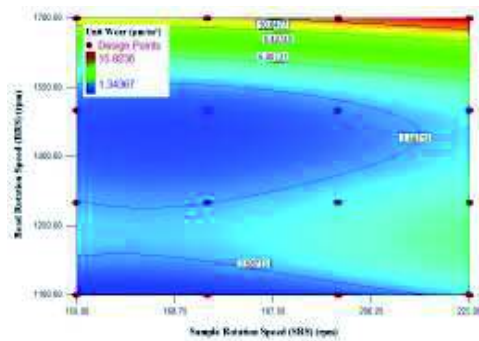


Figure 5. The estimation graph of the unit wear model

The equation of the cubic model for Kaman Grey was obtained according to Table 8 as follows.

$$\begin{aligned}
 UW (\mu\text{m}^2) = & 2.78 + (1.03 \cdot \text{SRS}) - (2.55 \cdot \text{BRS}) + (0.11 \cdot \text{SRS} \cdot \text{BRS}) + (0.63 \cdot \text{SRS}^2) + \\
 & (4.91 \cdot \text{BRS}^2) + (0.089 \cdot \text{SRS}^2 \cdot \text{BRS}) + \\
 & (0.7 \cdot \text{SRS} \cdot \text{BRS}^2) - (0.24 \cdot \text{SRS}^3) + \\
 & (8.18 \cdot \text{BRS}^3)
 \end{aligned}$$

It is possible to test whether a regression model is statistically significant or not by means of variance analysis method. As well as this, there are different approaches serving for the same purpose. One of them is to examine the scatter diagram between the observed results obtained from the experimental studies and the results obtained from the model equation (Figure 6). When Figure 6 is examined, it is seen that the results obtained from the model equation well reflect the real condition.

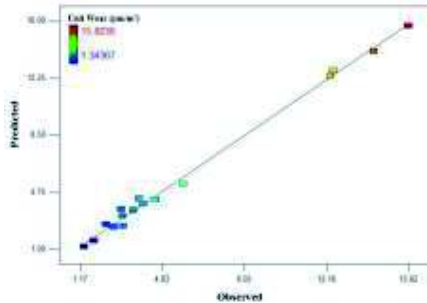


Figure 6. Relationships between observed values from experimental studies and predicted values obtained from the unit wear model

2.3.2 Statistical Assessment for Cutting Rate

Statistical analysis were performed with different kind of models given in Table 10 for estimating the cutting rate by using sample rotation speed and bead rotation speed. The cubic model for Kaman Grey was found to be the best models for estimating the cutting rate (Table 10). The validity of the model (cubic) was tested with variance analysis. Results of the multiple regression analysis are given in Table 11 and the results of the variance analysis are given in Table 12. The model based on the regression coefficients given in Table 11 is statistically significant at 99% ($\alpha=0,01$) confidence level

Table 10. Results of the statistical for selecting of suitable model for cutting rate

Source	R ²	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.7090	0.6642	0.5729	
2FI	0.7492	0.6865	0.6101	
Quadratic	0.7640	0.6460	0.4506	
Cubic	0.9656	0.9140	0.6518	Suggested

Table 11. The results of multiple regression analysis for cutting rate

Factor	Coef.Estimate	Degree of Freedom	Standard Error
Intercept	0.056	1	3.915E-003
Sample Rotation Speed (SRS)	0.010	1	9.758E-003
Bead Rotation Speed (BRS)	0.025	1	9.758E-003
(SRS) (BRS)	-0,0092	1	3.470E-003
(SRS) ²	-0,0023	1	4.337E-003
(BRS) ²	-0,0066	1	4.337E-003
(SRS)2(BRS)	0,0006	1	5.819E-003
(SRS) (BRS) ²	0.011	1	5.819E-003
(SRS) ³	-0,0016	1	9.698E-003
(BRS)3	-0.054	1	9.698E-003

(*P=0,0028< α =0.01). The estimation graph of the developed model is given in Figure 7.

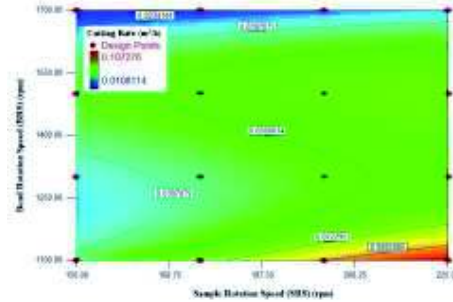


Figure 7. The estimation graph of the cutting rate model

The equation of the cubic model for Kaman Grey was obtained according to Table 11 as follows.

$$CR \text{ (m}^2\text{/h)} = 0,056 + (0,010*\text{SRS}) + 0,025*\text{BRS} - (0,0092*\text{SRS}*\text{BRS}) - (0,0023*\text{SRS}^2) - (0,0066*\text{BRS}^2) + (0,0006*\text{SRS}^2*\text{BRS}) + (0,011*\text{SRS}*\text{BRS}^2) - (0,0016*\text{SRS}^3) - (0,054*\text{BRS}^3)$$

The relationship between the observed values of the cutting rate from experimental studies and the predicted values from the cutting rate model was also investigated and the result is given in Figure 8. Figure 8 indicates that the results obtained from the model well reflect the real condition.

Table 12. The ANOVA of the regression model for cutting rate

Source	Sum of Squares	Degree of freedom	Mean Sq.	F Value	p-value P > F	
Model	0.0100000	9	0.0011120	18.71	0.0010	significant
(SRS)	0,0000660	1	0,0000658	1.11	0.3332	
(BRS)	0,0003800	1	0,0003815	6.42	0.0445	
(SRS)(BRS)	0,0004100	1	0,0004169	7.01	0.0381	
(SRS) ²	0,0000170	1	0,0000172	0.29	0.6101	
(BRS) ²	0,0001360	1	0,0001364	2.29	0.1806	
(SRS) ² (BRS)	0,0000007	1	0,0000007	0.011	0.9196	
(SRS)(BRS) ²	0,0000200	1	0,0002151	3.62	0.1058	
(SRS) ³	0,0000015	1	0,0000015	0.026	0.8779	
(BRS) ³	0,0018730	1	0,0018730	31.50	0.0014	
Residual	0,0003570	6	0,0000595			
Cor Total	0.0100000	15				

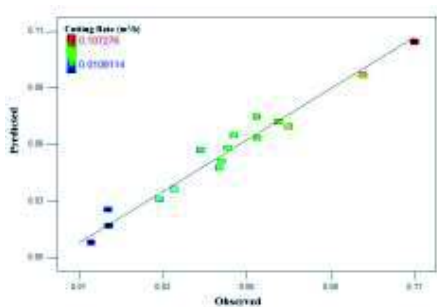


Figure 8. Relationships between observed values and predicted values

The results obtained from the statistical analysis show that developed unit wear and cutting rate models are statistically significant and unit wear and cutting rate can be modeled by these ways. By using the model equations and also estimation graphs, it is possible to estimate the unit wear and cutting rate before starting the cutting with diamond wire.

Table 13. Design limitations used in determining the optimum points

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Importance
SRS (rpm)	in range	150	225	3
BRS (rpm)	in range	1100	1700	3
UW ($\mu\text{m}/\text{m}^2$)	minimum	1.344	15.824	5
CR (m^2/h)	maximum	0.011	0.107	5

Table 14. The optimum working conditions Kaman Grey granite samples

Sample Rotation Speed (SRS)	225.00
Bead Rotation Speed (BRS)	1100.00
UW ($\mu\text{m}/\text{m}^2$)	4.01909
CR (m^2/h)	0.10488
Desirability Level	0.89200

2.3.3 Optimization

The main purpose of this study is to determine the optimum bead rotation and sample rotation speed values that would maximize the cutting rate values and minimize the unit wear values in cutting Kaman Grey granite sample with diamond wire and also to develop cuttability abacuses for diamond wire cutting in granite samples. For this purpose, the aforesaid Design Expert 7.0 program was used. In this stage of the study, firstly, the constraints were defined (Table 13). Later, the constraints were used to determine the optimum points for Kaman Grey granite sample.

The optimum points were determined by using Design Expert 7.0 program for Kaman Grey granite sample considering the design constraints. The results are given in Table 14.

By using the model equations obtained from the statistical analyses, cuttability abacuses for Kaman Grey granite sample were developed with respect to unit wear and cutting rate separately. The results are given in Figure 8 and 9 for unit wear and cutting rate, respectively. The cuttability abacuses show the optimum working conditions and estimated unit wear and cutting rate values that will be occurred under these conditions.

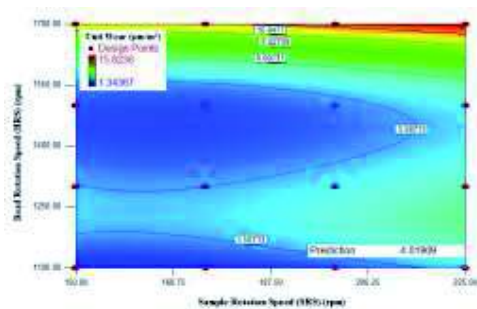


Fig. 8. The cuttability abacus including the optimum conditions with respect to unit wear

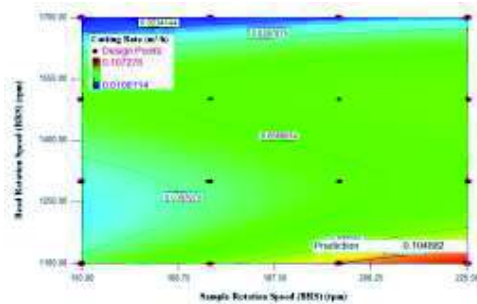


Fig. 9. The cuttability abacus including the optimum conditions with respect to cutting rate

By using these abacuses, it is easy to determine the values of the unit wear and the cutting rate in different working condition before starting the cutting operation with diamond wire for Kaman Grey granite samples.

3 CONCLUSION

In this study, determination of the optimum working conditions for Kaman Grey granite sample in terms of cutting performance parameters including unit wear and cutting rate and the development of cuttability abacuses with respect to cutting performance parameters were aimed. As result of this study, the optimum working parameters for Kaman Grey granite sample of 225 rpm sample rotation speed and 1100 rpm bead rotation speed were found in the laboratory with single bead test machine. Also the field equivalents of these optimum points were determined for Kaman Grey granite sample as hoop rotation of 600 rpm with hoop diameter of 70cm in diamond wire cutting machine used in granite quarry. Cuttability abacuses for Kaman Grey granite sample were developed depending on the performance parameters namely unit wear and cutting rate. These abacuses would contribute to natural stone industry for more efficient usage of diamond wire cutting machine. By using these abacuses, it is easy to determine the values of the unit wear and the cutting rate in different working condition before starting the cutting operation with diamond wire for Kaman Grey granite sample.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study is supported by TUBITAK project numbered 109M106 and named “Development of Cuttability Abacuses on Diamond Wire Cutting Method and Numerical Modeling of Cutting Mechanism of Diamond Bead”. Therefore, we would like to thank to TUBITAK-MAG group and also Hacettepe University Department of Mining Engineering for their contributions.

REFERENCES

Andrissi, G.S., Loi, G., Trois, R. and Rossi, G., 2005, Combining Mechonochemistry and Innovative Diamond Wire Saws for Improving

- Productivity in Granite Quarries, Mining Engineering, October 2005, pp. 46-52.
- Berry, P., A. Bortolussi, R. Ciccu, P.P. Manca, G. Massacci and M. Pinzari. 1989. Optimum Use of Diamond Wire Equipment in Stone Quarrying 21st APCOM. Las Vegas. 351-365.
- Biasco, G. 1993. Diamond Wire for Quarrying Hard Rocks. *Industrial Diamond Review* 5. 252-255.
- Bortolussi, A., Ciccu, R., Manca, P.P and Massacci, G. 1990, Simulation and Optimization of Rock Cutting with Diamond Wire, XXII. International Symposium APCOM, Berlin, 163-176.
- Bortolussi, A., R. Ciccu, P.P. Manca and G. Massacci, 1994, Computer Simulation of Diamond-Wire Cutting of Hard Rock and Abrasive Rock, IMM, 103, A55-A128
- Cappuzi, Q. 1989. Diamond Wire Cutting Technology in Granite Quarry. ACIMM for Marble.
- Cook, M and B.A. Smith. 1993. A Study of Diamond Wire Bead Rotation, *Industrial Diamond Review*. 2, 79-81.
- Cai, O., Mancini, R. 1989, Diamond Wire for Cutting Hard Rock, *Dimensional Stone*. March 1989, pp.24-27
- Hawkins, A., Antenen, A.P and Johnson, G. 1990, The Diamond Wire Saws, *Dimensional Stone*, September 1990, pp. 44-64.
- Hawkins, A.C., A.P. Antenen and G. Johnson. 1990. The Diamond Wire Saw in Quarrying Granite and Marble. *Dimensional Stone*, September, 44-50.
- ISRM 1981, Rock characterization testing and monitoring. Suggested Methods. Oxford.
- Kanbir, E.S. 2007. Investigation Of Efficient Parameters On Cutting in Single Bead Test Machine, M.Sc. Hacettepe University. Ankara, 97 p. (In Turkish)
- Ozcelik, Y. 1999. Investigation of the working conditions of diamond wire cutting machines in marble industry, PhD Thesis, Hacettepe University, Ankara (In Turkish).
- Özçelik, Y., S. Kulaksız and M.C. Çetin. 2002. Assessment of the Wearing on Diamond Beads in the Cutting of Different Rock Types by the Ridge Regression, *Journal of Materials Processing Technology*. 127 (3), 392-400.
- Ozcelik, Y. 2003. Multivariate Statistical Analysis of the Wear on Diamond Beads in the Cutting of Andesitic Rocks, *Key Engineering Materials*, Vol. 250, pp.118-130.
- Özçelik, Y. and F. Bayram. 2004. Investigation of the Effects of Block Size to Cutting Performance of Diamond Wire Cutting Marble. 40, 46-54.
- Özçelik, Y and F., Bayram. 2004. Optical Investigations of Bead Wear in Diamond Wire Cutting, *Industrial Diamond Review*, 64, 60-65.
- Özçelik, Y. 2005. Optimum Working Conditions of Diamond Wire Cutting Machines in Marble Industry, *Industrial Diamond Review*. IDR, 65, 58-64.
- Ozcelik, Y., E. Yilmazkaya, F. Bayram, N.E. Yasitli and E.S. Kanbir. 2007. Proceedings of 2nd International Industrial Diamond Conference, B.1.3.
- Ozcelik, Y. 2008. Development of a single diamond bead test machine for marble cutting, (IDR) *Ind. Diamond Rev.* 68 56-62.
- Ozcelik, Y., E., Yilmazkaya, F., Bayram, N.E., Yasitli and E.S., Kanbir. 2008. Effect of the Variation of the Surface Area of Block to Cutting Performance of Diamond Wire, ICDS – International Congress on Dimension Stones 2008, pp. 103 – 109.
- Ozcelik, Y., F. Bayram, N.E. Yasitli, E. Yilmazkaya, E.S. Kanbir. 2008. Determination of Bead Selection Criterion in Diamond Wire Cutting Method. Research Fund. Project Number: 06 01 602 008, Hacettepe University.
- Wright, N.D. 1992. Marble and Granite Quarries Turn to Diamond Wire. *Stone World*, 77-80.

Properties of Cement Paste Containing GCS Additions

M. Cabeza, B. Díaz, L. Freire, A. López, P. Prado, X.R. Nóvoa
ENCOMAT, E.E.I, University of Vigo, Vigo, Spain

I. Sánchez

Civil Engineering Department, University of Alicante, Alicante, Spain

ABSTRACT The use of the granite processing waste (GCS) as addition in cement paste emerges as a need of recycling an inert residue generated in quarries and solving an environmental problem.

Previous studies confirmed that small additions to alkaline solutions simulating cement modify the natural passive layer formed on steel. Moreover, these additions are able to inhibit pitting corrosion in high contaminated media.

The objective of this work is to determine the compatibility, reactivity and optimal addition of GCS in the cement paste. Cement samples prepared with different proportions (2%, 5% and 10%) are studied to quantify its effect in the microstructure and diffusivity of corrosive agents.

Some beneficial effect was obtained with additions up to 5% in terms of chloride diffusivity. However the carbonation depth is increased for all the polluted cement samples. The analysis by mercury intrusion porosimetry revealed a porous network coarsening for those samples prepared with GCS.

1 INTRODUCTION

1.1 Granite Processing Waste

Spain is one of the three greater ornamental rock producers and the first European granite producer. 60% of the Spanish production is concentrated in Porriño (NW of Spain), where 300000 tons are produced per year. The granite cut residues are originated from the sawing process of rock blocks into plates. In this process, 20% to 30% w/w of mineral is transformed into dust which mixed with water, shot particles, lubricants, tensioactive particles and lime forms the called "granite cutting sludge", GCS.

This residue has not practical application nowadays. Thus, it is accumulated as waste in landfills. The environmental problem generated urges to find a solution acceptable from the economical and ecological points of view. The recycling of industrial wastes in concrete manufacturing is a matter of

increasing interest worldwide. Indeed, concrete technology can use great amounts of industrial residues as secondary raw materials. For instance, blended cements are normally produced by adding different quantities of coal fly ash, silica fume or ground granulated blast furnace slag to Portland cement clinker. These mineral additions, that have been initially simply used to recycle wastes, turned out to be beneficial with regards to the properties of concrete, especially in relation to its resistance to aggressive agents (Neville, 1995; Sousa, 2003). Preliminary works (Gonçalves et al., 2002) suggested the possibility of using GCS as an additive into concrete structures, concluding that small additions of these slurries improved the mechanical resistance of concrete.

The present paper is aimed to analyze the possible use of GCS as additive in reinforcing concrete structures, evaluating

its effect when chloride ions and CO₂ are present.

1.2 Corrosion on Steel in Concrete

Carbon dioxide (CO₂) and chloride ions (Cl⁻) are known aggressive agents that cause corrosion of the reinforcing bars in concrete.

The high alkalinity in the pore solution due to the presence of calcium hydroxide (Ca(OH)₂) provides the maintenance of the passivity of steel. A significant pH decrement occurs when carbonation takes place. Carbonation refers to the reaction of the CO₂ with ions in the pore solution as indicated in Equations 1 and 2 (Ramachandran & Beaudoin, 2001).



Steel passivity will break if chloride ions are present. These ions can be incorporated as a contaminant or additive during the mix stage although the most common way is after exposure to a contaminated environment. Chlorides can penetrate through the cracks and pores and then the porous network plays an essential role on their mobility. Once chlorides reach the metallic rebars the steel surface remains active.

1.3 Mass Transport Phenomenon

The diffusivity properties of several cement paste samples prepared with different waste proportions is analyzed in this work. The assessment of the aggressives diffusion rate will be helpful in order to predict the durability and service life period.

Carbonation process starts in the external surface and penetrates into the concrete following the simplified Tuutti's model where the diffusion rate is proportional to the square root of time as described in Equation 3 (Neville, 1995).

$$s = K\sqrt{t} \quad \text{Eq. 3}$$

where *s* is the carbonation depth (mm), *K* is the carbonation coefficient (mm/year) and *t* is time (years).

Typically the carbonation process is slow and time attenuated (parabolic tend). Relative humidity and CO₂ concentration are the most influential variables in the process. When the humidity level is maintained around 50-70% the diffusion rate is considerably increased (Neville, 1995). Obviously a higher CO₂ concentration significantly reduces the carbonation time.

Regarding the chloride penetration, if the stationary conditions have been reached the Fick's first law (Equation 4) can be considered.

$$F = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad \text{Eq. 4}$$

where *F* is the flux of the chloride ions (mol cm⁻² s⁻¹), *C* is concentration (mol cm⁻³), *x* is the position (cm) and *D* is the diffusion coefficient (cm² s⁻¹) which will be dependent on the cement characteristics. Diffusion coefficients obtained under stationary conditions are known as "effective" coefficients. Flux can be defined on the other hand as indicated in Equation 5.

$$F = \frac{V}{A} \frac{\partial C}{\partial t} \quad \text{Eq. 5}$$

where *V* is the volume (cm³), *A* is the surface (cm²), *C* is concentration (mol cm⁻³) and *t* is time (s).

Equating Eq. 4 and 5, a direct relation (once integrating) can be obtained between the variation in the chloride concentration and the time (Equation 6).

Then the effective diffusion coefficient can be easily evaluated from the slope after linear fitting (Castellote et al., 2001).

$$\ln(C_i - C_f) = -\frac{D_{\text{eff}} A}{V l} t + \ln C_i \quad \text{Eq. 6}$$

where *C_i* and *C_f* are respectively the chloride concentrations in the upstream and downstream solutions (mol cm⁻³), *D_{eff}* is the steady-state diffusion coefficient (cm² s⁻¹), *V* is the volume (cm³), *t* is the testing period (s), *A* is the diffusion area and *l* is the thickness of the specimen (cm).

2 EXPERIMENTAL

Cement paste samples were prepared using Ordinary Cement Portland (OCP) CEM I 52.5 R classified according to the Spanish standard UNE-EN 197-1:2011. The materials (OCP, granite waste and water) were mixed according to the Spanish/EU standard UNE-EN 196-1:2005. The water to cement (or cement-waste) ratio was 0.5. Samples were maintained in a 100% RH chamber after casting, demoulded after one day of fabrication and kept in the same chamber for 28 days before any experiment.

Four different samples were prepared with several waste contents: 0% (blank), 2%, 5% and 10% (percentages refer to the cement weight substituted). The main constituents of the granite slurries are silicon, aluminum and iron oxides as numerically indicated in Table 1.

Table 1. Granite waste composition (wt. %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O
66.1	13.4	7.4	5.9	3.8	3.4

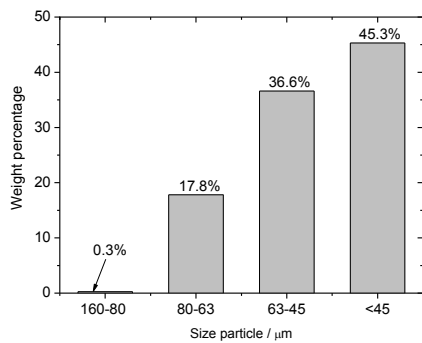


Figure 1. Size particle distribution obtained after milling the granite waste

The waste powder was dried at 100°C and mechanically grinded before mixing with the cement powder. The size particles distribution, illustrated in Figure 1, shows that almost no particles with size lower than 80 μm were incorporated to the mix.

The chloride natural diffusion and the carbonation experiments were performed as explained elsewhere (Cabeza et al., 2013). Thus during the chloride diffusion tests the

chloride concentration of the downstream and upstream solutions were often measured. The carbonation process was checked with the periodical weight increment measurement. At the end of the test samples were split in two halves and sprayed with phenolphthalein in order to determine the precise CO₂ penetration depth.

The mercury intrusion porosimetry (MIP) technique was followed to analyze the cement microstructure. The equipment is able to cover pores diameters from 100 μm down to 5 nm. Porosity values and pores size distribution were analyzed for each sample.

3 RESULTS AND DISCUSSION

Data regarding the cement diffusivity properties are firstly presented. The comparison with the reference sample, with no addition, is discussed.

After that, the microstructural effect of the granite residue on the cement paste is analyzed based on MIP results. The modification in the mechanical properties was evaluated as well considering a non destructive technique (sclerometric test).

3.1 Chloride Diffusion

The chloride concentration was measured during the natural diffusion test. The data are compiled in Figure 2.

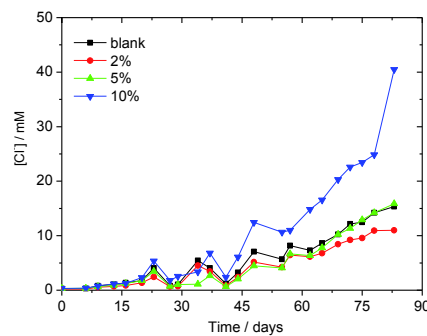


Figure 2. Chloride concentration in the downstream solution measured during the natural diffusion experiment

At the end of the diffusion experiment a lower chloride content, in comparison to the reference, was observed for that sample containing 2% of granite waste. By contrary increasing the addition amount, in particular notably for the higher waste content (10%), the chloride concentration increased.

3.1.1 Diffusion coefficients

The effective diffusion coefficients are calculated following Eq. 6. From the slope obtained after representing the $\ln(C_i - C_f)$ versus time (as presented in Figure 3), the diffusion coefficient can be evaluated (Castellote et al., 2001).

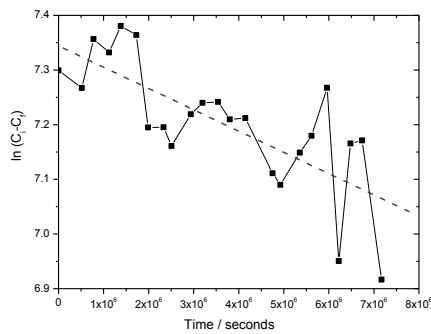


Figure 3. Calculation of the effective diffusion coefficient (Eq. 6) from the natural diffusion experiment results

The diffusion coefficients obtained for the different cement samples are collected in Table 2.

Table 2. Effective diffusion coefficients obtained from the natural diffusion tests ($\times 10^{-8} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$)

Blank	2%	5%	10%
4.9	3.8	4.7	22.6

In agreement to the data shown in Figure 2, no effect is observed after replacement up to 5% of the cement waste with the granite waste. Actually not only no detrimental effect is measured in presence of such an amount of the granite waste but some

improvement is even detected. However a higher waste content (10%) results in a significant increment in the chloride penetration rate. Thus a considerable reduction in terms of durability would be expected for such a high waste amount.

3.2 CO₂ Diffusion

The carbon dioxide penetration was followed by measuring the weight variation during the experiment. Figure 4 shows the corresponding data as percentage referred to the initial weight. As observed from this graph a higher increment was measured for the samples containing granite waste and thus a higher carbonation depth can be concluded (Cabeza et al., 2013).

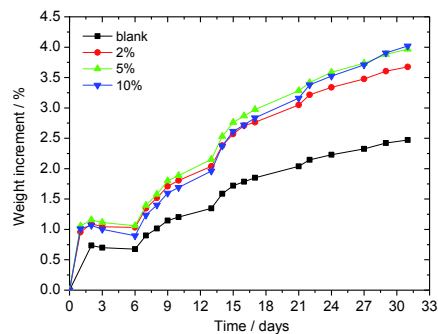


Figure 4. Percentage of weight increment registered during the carbonation experiment

Fittings following Eq. 3 give the carbonation coefficient values (K). Thus the K constant values were 0.43, 0.64, 0.69 and 0.66 for the samples with 0%, 2%, 5% and 10% respectively. The higher K constant obtained for all the polluted samples reveals the more rapid carbonation in comparison to the blank.

Once the carbonation experiment finished the average carbonation depth were measured. The values were: 9.3, 10.3, 14.9 and 15.5 mm for the samples with 0%, 2%, 5% and 10% of granite waste respectively. Thus higher the waste content, more profound the CO₂ penetration, in agreement to the non destructive assessment by measuring the weight variation (Figure 4).

3.3 Mercury Intrusion Porosimetry

The microstructural modifications induced by the granite waste incorporation were evaluated with the MIP technique. Firstly a slight increment was measured in the global porosity, i.e., percentage of the total volume occupied by pores. Thus a porosity value around 21% was obtained for the reference sample whereas 26% was found for the sample with the higher granite waste content (10%). Almost no variation was measured for the samples with 2% and 5% of cement substitution (21% and 23% respectively).

A more detailed analysis was performed considering the pores sizes distribution. Figure 5 shows the three observed pores families. The most relevant family, at the lowest size, is located around 0.03 μm . Two other pores families were observed centered at about 0.4 and 1 μm approximately.

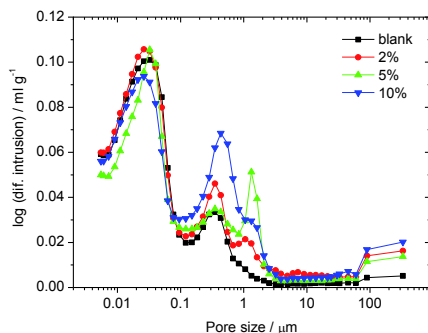


Figure 5. Mercury intrusion porosimetry results for the analyzed cement samples

For the reference sample that pore family at the highest size (around 1 μm) has not been detected showing some coarsening effect of the granite waste in the cement microstructure. Indeed if the individual contribution of each pore family is separately considered more relevant differences are revealed. Results are compiled in Figure 6.

The relative contribution of the family located at the lowest pore diameter is reduced in presence of the granite waste; modification much more relevant after replacing 10% of weight of cement. By contrary the family centered at 0.4 μm

contributes more strongly to the total porosity as the granite waste amount increases. Thus the number of pores at higher sizes increases and then a much easier penetrability is verified for the polluted samples. These results explained those variations measured in the carbonation experiments.

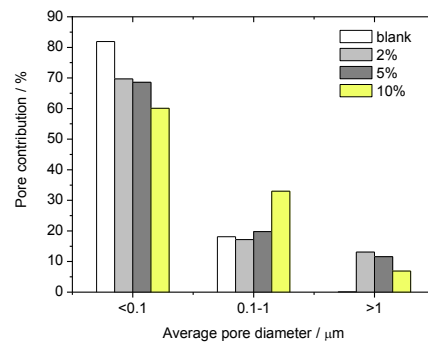


Figure 6. Relative contribution to the total porosity of each pore family

Coming back to the obtained diffusion coefficient values, some beneficial effect was obtained with a certain granite waste amount. Then some other effect different to these observed microstructural modifications must be connected to that behavior. The granite waste particles are apparently able to retain the chloride ions, hinder their mobility and then reduce the chloride diffusivity. The chemical nature of the granite waste (Table 1) could explain this finding. Such a result was obtained by other authors in presence of fly ashes or blast furnace slag (Dhir et al., 1996; Hossain et al., 2004), additives with a similar composition.

3.4 Sclerometric Test

In order to predict the mechanical strength of the cement samples with the several granite waste contents, non destructive tests by a sclerometer were performed (Khan et al., 2004). A hammer impacts the cement surface and the rebound distance is evaluated (sclerometric factor, SF). The strength (R) can be assessed from the experimental relation presented in Equation 7 (Tobío,

1967). Data are numerically compared in Table 3.

$$R = \left(\frac{SF}{2.07}\right)^{1.97} \quad \text{Eq. 7}$$

Table 3. Assessment of the mechanical strength from the sclerometric test

	Blank	2%	5%	10%
SF (MPa)	44	47	42	27
Q (MPa)	41.2	46.9	37.6	15.8

A significant reduction in the mechanical strength is obtained for the polluted samples, in particular significant for the 10% of cement substitution, in good agreement to that discussed from the porosimetry experiments.

4 CONCLUSIONS

The effect of the granite waste incorporation to cement was evaluated. The diffusivity properties of the new cement mix have been checked being chloride ions and carbon dioxide the diffusing species analyzed in this work. The microstructural modifications induced by the waste addition have been also discussed.

Some beneficial effect was found in terms of the chloride ions diffusion with additions less than 5%. A 20% reduction in the chloride penetration rate was obtained after substituting 2% of the cement weight. Almost no variation is observed with 5% of granite particles.

Regarding the CO₂ penetration, a higher carbonation rate was measured in presence of the granite waste.

A higher percentage of pores of higher sizes was revealed for all the polluted cement samples, particularly notable for the 10% of replacement. Then the incorporation of the granite waste to cement deteriorates its properties. However for the particular case of a chlorinated environment the chemical nature of the granite residue particles seems to assist to a reduced chloride penetration. This finding needs to

be studied with more detail in order to clarify this favorable consequence.

REFERENCES

- Castellote, M., Andrade, C., Alonso, C., 2001. Measurement of the steady state and non-steady-state chloride diffusion coefficients in a migration test by means of monitoring the conductivity in the anolyte chamber. Comparison with natural diffusion experiments, *Cement and Concrete Research*, 31, pp. 1411.1420.
- Cabeza, M., Díaz, B., Freire, L., NÓVOA, X. R., 20xx. Chloride diffusion and carbonation in cement paste containing red muds, *Submitted to Cement and Concrete Research*, October 2012.
- Dhir, R. K., El-Mohr, M. A. K., Dyer, T. D., 1996. Chloride binding in GGBS concrete, *Cement and Concrete Research*, 26, pp. 1797-1773.
- Gonçalves, J. P., Moura, W. A., Coitinho Dal Molin, 2002. Avaliação da influencia da utilização do residuo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecánicas do concreto, *Ambiente Construido*, Porto Alegre, Brasil, 2, pp. 53-55.
- Hossain, K. M. A., Lachemi, M., 2004., Corrosion resistance and chloride diffusivity of volcanic ash blended cement mortar, *Cement and Concrete Research*, 34, pp. 695-702.
- Khan, S. R. M., Noorzaei, J., Kadir, M. R. A., Waleed, A. M. T., Jaafar, M. S., 2004., Effectiveness of sclerometer test technique on strength assessment of high performance concrete, *Intrenational Journal of Engineering and Technology* 2, pp. 163-168.
- Neville, A. M., 1995. *Properties of concrete*, Longman, Harlow, GB.
- Ramachandarn, V. S., Beaudoin, J. J., 2001. *Handbook of analytical techniques in concrete science and technology*, Noyes Publications, USA.
- Sousa, J., 2003. The combined benefits of CPF and RHA in improving the durability of concrete structures, *Cement and Concrete Composites*, 25, pp. 51-59
- Tobio, J. M., 1967. *Ensayos no destructivos*, IETCC, CSIC, Madrid.